

ACÚSTICA AMBIENTAL – ANÁLISE DE RUÍDO URBANO

ANA SOFIA MOREIRA DA SILVA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Professor Doutor Rui Manuel Gonçalves Calejo Rodrigues

JUNHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2009.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, gostaria de demonstrar a minha gratidão ao Professor Rui Calejo Rodrigues, por toda a motivação, apoio e disponibilidade constante ao longo da elaboração deste trabalho.

Gostaria de expressar o meu agradecimento, aos colaboradores do NI&DEA, Pedro Rodrigues e Eduardo Afonso, sem os quais a concretização deste projecto não seria possível.

Aos meus amigos, agradeço o espírito de entreajuda que sempre me demonstraram com especial atenção à Joana Nascimento e Cátia Almeida pelo apoio constante que proporcionaram no decorrer deste projecto.

Aos meus Pais, pois sem eles nada disto seria possível, e também à minha Família, exprimo o meu sincero reconhecimento e agradecimento, por todo o apoio, carinho e amizade recebidos ao longo da minha vida.

RESUMO

O uso excessivo dos transportes rodoviários singulares provoca a diminuição da qualidade ambiental, não só pela constante degradação atmosférica, mas também pelo ruído hostil constantemente produzido. No âmbito das novas políticas de sustentabilidade ambiental, o uso do automóvel é desencorajado com o objectivo de melhorar a qualidade de vida da sociedade.

Este projecto teve como objectivo obter dados que permitam avaliar quais as diferenças do ponto de vista acústico entre a situação actual e uma hipotética substituição dos veículos de transporte individual para veículos de transporte colectivo.

Em paralelo foi também estudado um método de cálculo de ruído urbano usando apenas as contribuições individuais das fontes sonoras geradoras de ruído urbano através da sua soma energética no sentido de tentar facilitar o processo de caracterização do ruído ambiental de uma determinada zona.

No sentido de concretizar e concluir os objectivos propostos procedeu-se à caracterização acústica da zona do Pólo da Asprela por intermédio de medições do ruído urbano, com o objectivo de actualizar o Mapa de Ruídos do Porto com os indicadores de incomodidade L_{den} e L_n característicos da situação actual. Este processo conta com o uso do software de cálculo de ruídos urbanos, CadnaA. Efectuaram-se também medições de dois tipos das fontes sonoras mais proeminentes e contributivas com o intuito de desenvolver o método de cálculo proposto.

Em conjunto com as medições foram também realizadas contagens de tráfego rodoviário, permitindo mais tarde transformar o número de transportes individuais num número proporcional de transportes colectivos.

Conclui-se que de facto se verifica uma redução significativa de ruído na transformação de veículos individuais em colectivos, na proximidade de 3 dB(A), este valor traduz a redução de metade da energia. A redução de ruído toma proporções desmedidas quando limitado qualquer acesso de veículos rodoviários, provando ser a solução ideal, ainda que um pouco utópica.

PALAVRAS-CHAVE: Ruído, Mapa, Mobilidade, Transportes, Simulações.

ABSTRACT

The excessive use of individual road transport causes a decrease in environmental quality, not only by the constant atmospheric degradation, but also by the hostile noise produced constantly. Under the new policies for environmental sustainability, the use of cars is discouraged in order to improve the quality of life of society.

This project aimed to obtain data to assess the differences from the noise of the current situation and a hypothetical replacement of individual transport vehicles in to public vehicles transport.

In parallel was also studied a method of calculation of urban noise using only the contributions of individual noise sources generate noise through its total urban energy to try to facilitate and reduce the process of characterizing the noise of a given area.

In order to achieve and complete the objectives were used to characterize the acoustic area of the Asprela Pole through measurements of urban noise, with the aim of updating the Oporto Noise Map with indicators of discomfort L_{den} and L_n characteristic of the current situation. This process includes the use of software for calculation of urban noise, CadnaA. There were also measured the two types of sound sources most prominent contributions in order to develop the proposed method of calculation.

Along with the measurements were also carried out scores of traffic, allowing later to transform the number of individual transport in to a proportional number of buses.

We conclude that in fact there is a significant reduction of noise in the processing of individual vehicles in public in the vicinity of 3 dB (A), this figure reflects the reduction of half the energy. The reduction of noise takes enormous proportions when the access to any kind of road vehicles is denied, proving to be the ideal solution, though a bit utopian.

KEYWORDS: Noise, Map, Mobility, Transport, Simulation.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1. INTRODUÇÃO	 1
1.1. MOTIVAÇÃO	1
1.2. OBJECTIVOS E ÂMBITO	1
1.3. ENQUADRAMENTO SOCIAL, ECONÓMICO E AMBIENTAL	2
1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
 2. PROPAGAÇÃO E MEDIÇÃO DO RUÍDO	 5
2.1. SÍNTESE DE CONHECIMENTOS	5
2.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOM	6
2.1.2. CARACTERIZAÇÃO DAS FONTES DE RUÍDO	7
2.1.3. ANÁLISE NO TEMPO	8
2.2. ACÚSTICA DE EXTERIORES	8
2.2.1. ENQUADRAMENTO LEGAL DO RUÍDO URBANO	9
2.2.2. INDICADORES DE CARACTERIZAÇÃO DO RUÍDO URBANO	10
2.2.3. ATENUAÇÃO DO SOM NA SUA PROPAGAÇÃO AO AR LIVRE	11
2.2.3.1. Divergência Geométrica	13
2.2.3.2. Absorção Atmosférica	13
2.2.3.3. Absorção do Solo	13
2.2.3.4. Efeito Barreira	15
2.2.3.5. Reflexões	17
2.2.3. PROPAGAÇÃO DO RUÍDO DE TRÁFEGO	17
2.2.4. MEDIÇÃO DE RUÍDOS EXTERIORES	18
2.2.4.1. Condições de Medição	19
2.2.4.2. Determinação dos Níveis de Pressão Sonora	19
2.2.4.3. Tratamento de dados	19

3. ENQUADRAMENTO LEGAL E SOCIAL	21
3.1. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RUÍDO	21
3.2. MAPAS DE RUÍDO	22
3.2.1. DIRECTIVAS DE ELABORAÇÃO DE MAPAS DE RUÍDO	22
3.2.1.1. Escala do Mapa	22
3.2.1.2. Caracterização das fontes sonoras	22
3.2.1.3. Peças escritas e desenhadas	24
3.2.1. SOFTWARE DE CÁLCULO	25
3.3. MOBILIDADE	25
3.4. MOVIMENTOS PENDULARES	26
3.5. ÁREA DE ESTUDO	29
4. ANÁLISE DE DADOS	33
4.1. MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA	33
4.2. MEDIÇÕES PONTUAIS	37
4.3. MEDIÇÕES INDIVIDUAIS	41
5. CASO DE ESTUDO	47
5.1. MÉTODO DAS CONTRIBUIÇÕES INDIVIDUAIS	47
5.1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	47
5.1.2. APLICAÇÃO PRÁTICA	48
5.2. MAPA DE RUÍDO E MODELAÇÃO DE TRÁFEGO	51
5.2.2. MAPA DE RUÍDO DE BASE	51
5.2.2. AFERIÇÃO DO MAPA DE RUÍDO	52
5.2.2.1. Caracterização da Rua António Bernardino Almeida	53
5.2.2.2. Caracterização da Rua Dr. Roberto Frias	55
5.2.2.3. Aferição do Mapa	56
5.2.2. MODELAÇÃO DE TRÁFEGO	58
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS	66
6.1. CONCLUSÕES	66
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTURO	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1 - Caracterização gráfica da frequência	6
Fig.2.2 – Curvas de Ponderação.....	7
Fig.2.3 – Exemplo de uma fonte linear	8
Fig.2.4 - Esquema das regiões de separação entre a fonte emissora e o ponto receptor	14
Fig.2.5 - Geometria de uma barreira acústica.....	16
Fig.2.6 - Geometria de barreiras acústicas com duplas difracções	17
Fig.3.1 - Volume de entradas e saídas do Porto	27
Fig.3.2 - Movimentos Pendulares	28
Fig.3.3 - Entradas e saídas dos principais acessos à cidade do Porto	28
Fig.3.4 - Mapa da zona de estudo.....	29
Fig.3.5 - Mapa de classificação de zonas da cidade do Porto.....	30
Fig.3.6 - Número de entradas de veículos por zona	30
Fig.3.7 - Número de saídas de veículos por zona	31
Fig.4.1 - Sonómetro colocado no ISEP	33
Fig.4.2 – Gráfico dos valores retirados em Período Diurno nas diferentes Quintas.....	38
Fig.4.3 – Gráfico da média dos valores retirados em Período Diurno nas diferentes Quinta	38
Fig.4.4 – Gráfico da média dos valores retirados em Período Diurno	39
Fig.4.5 – Gráfico da soma energética dos valores retirados em Período Diurno	39
Fig.4.6 – Gráfico da média dos valores retirados em Período Nocturno	40
Fig.4.7 – Gráfico da soma energética dos valores retirados em Período Nocturno	40
Fig.4.8 – Mapa do Pólo da Asprela com os locais de medições pontuais.....	42
Fig.4.9 – Classificação de veículos	43
Fig.4.10 – Distribuição de ruído de veículos pesados	45
Fig.4.11 – Distribuição de ruído de veículos ligeiro	45
Fig.4.12 – Distribuição sobreposta de ruído composto dos dois tipos de veículos	46
Fig.5.1 – Produção de ruído aleatória	48
Fig.5.2 – Acumulação das fontes de ruído	48
Fig.5.3 – Mapa de ruídos de base em período diurno	51
Fig.5.4 – Mapa de ruídos de base em período nocturno	52
Fig.5.5 – Esquema da rua António Bernardino Almeida	54
Fig.5.6 – Colocação de dados no CadnaA na rua 1	54

Fig.5.7 – Colocação de dados no CadnaA na rua 2	55
Fig.5.8 – Colocação de dados no CadnaA na rua 3	55
Fig.5.9 – Rua Dr. Roberto Frias (local de medições pontuais)	56
Fig.5.10 – Colocação de dados no CadnaA na rua Dr. Roberto Frias.....	56
Fig.5.11 – Mapa de Ruídos aferido em período diurno.....	57
Fig.5.12 – Mapa de Ruídos aferido em período noturno.....	58
Fig.5.13 – Mapa de Ruídos modelado em período diurno	60
Fig.5.14 – Mapa de Ruídos modelado em período noturno.....	60
Fig.5.15 – Mapa de Ruídos modelado em período diurno com acesso restrito a veículos	61
Fig.5.16 – Mapa de Ruídos modelado em período diurno com acesso restrito a veículos	61

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2.1 – Limites de Exposição em Função da Classificação de Zonas.....	10
Quadro 2.2 – Coeficientes de atenuação atmosférica.....	12
Quadro 2.3 – Relação entre G e as características do solo	13
Quadro 2.4 – Cálculo dos parâmetros A_s , A_r e A_m	14
Quadro 3.1 – Códigos de cores e padrões de um mapa de ruídos	24
Quadro 4.1 – Horário das medições contínuas.....	34
Quadro 4.2 – Sobreposição das medições contínuas	35
Quadro 4.3 – L_d , L_e e L_n correspondentes aos dias da semana	35
Quadro 4.4 – Dados relativos a todos os dias de monitorização contínua.....	36
Quadro 4.5 – Comparação dos L_{eq} retirados nos períodos de referência com o L_{eq} real.....	41
Quadro 4.6 – Organização dos valores retirados das medições pontuais	42
Quadro 4.7 – Organização dos valores retirados das medições individuais	44
Quadro 5.1 – Valores retirados do método das contribuições individuais em período nocturno	49
Quadro 5.2 – valores retirados do método das contribuições individuais em período diurno	50
Quadro 5.3 – Valores de Referência do Mapa de Base	52
Quadro 5.4 – Valores de Referência do Mapa de Base	52
Quadro 5.5 – Valores de referência no Mapa de Ruído aferido	56
Quadro 5.6 – Circulação de veículos pesados por ruas	59
Quadro 5.7 – Circulação de veículos ligeiros e pesados por ruas.....	59
Quadro 5.8 – Valores de referência de todas as situações estudadas	62
Quadro 5.9 – Diferença entre os valores obtidos em simulações e os valores de referência.....	62
Quadro 5.10 – Valores de referência de todas as situações estudadas	63
Quadro 5.11 – Valores Número de veículos por hora em situação simulada	65
Quadro 5.12 – Indicadores de ruído obtidos em situação simulada.....	66

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

a - Componente da distancia entre a fonte e o receptor, paralela à aresta (m)

A - Atenuação por banda de oitava, em decibel

A_{atm} - Atenuação devida à absorção atmosférica

A_{bar} - Atenuação devida a uma barreira

A_{div} - Atenuação devida à divergência geométrica

A_{gr} - Atenuação devida ao efeito de solo

A_{misc} - Atenuação devida a outros efeitos diversos

A_r - Atenuação correspondente à região receptora

A_s - Atenuação correspondente à região fonte

A_m - Atenuação correspondente à região intermédia

dB - Decibel

$dB(A)$ - Nível de Pressão Sonora Ponderado A

d - Distância da fonte ao receptor (m)

d_0 - Distancia de referência (m)

D_c - Correção da directividade, em decibel

d_p - Distância entre a fonte e o receptor, projectada sobre o plano do solo

D_{lr} - Índice de directividade da fonte na direcção da imagem do receptor

D_z - Atenuação da barreira para cada banda de oitava

e - Distância entre as duas arestas de difracção no caso da difracção dupla

G - factor que caracteriza acusticamente cada região

h_m - Altura médiado trajecto de propagação acima do solo (m)

h_r - Altura do receptor

h_s - Altura da fonte, e

Hz - hertz

K_{met} - factor de correcção meteorológica

$(L_{Aeq,t})_i$ - valor do nível sonoro correspondente à medição i

$L_{d,}$ - Nível de pressão sonora para o período de dia (7:00hr – 20:00hr)

L_{e} - Nível de pressão sonora para o período de entardecer (20:00hr – 23:00hr)

L_{eq} - Nível de pressão sonora contínuo equivalente

$L_{fit}(DW)$ - Nível sonoro contínuo equivalente

L_n - Nível de pressão sonora para o período de noite (23.00hr – 7:00hr)

L_p - Nível de pressão sonora

L_w - Nível de potência sonora por bandas de oitava, em decibel, produzido pela fonte sonora pontual, relativo à potência sonora da referência de um picowatt (1 pW)

$L_{w,im}$ - Nível de potência sonora da fonte imagem

n - Número de medições

p – pressão sonora (Pa)

p_0 – pressão sonora de referência (Pa)

Pa – Pascal

T - Duração total de ocorrência do ruído a caracterizar, no período de referência em análise

t_i - Duração do patamar i

z - Diferença entre os comprimentos das trajetórias do som reflectido (m)

λ - Comprimento de onda para a frequência nominal central de banda de oitava (m)

ρ - Coeficiente de reflexão sonora no ângulo β sobre a superfície do obstáculo ($>0,2$)

GIT – Grandes Infra-estruturas de Transportes

PMRR – Plano Municipal de Redução de Ruído

VCI – Via de Cintura Interna

TMH – Tráfego Médio Horário

1

Introdução

1.1. MOTIVAÇÃO

O que aconteceria se todos os veículos ligeiros fossem substituídos por transportes públicos, seria observada uma redução significativa de ruído urbano?

O ruído ambiental e o ruído de tráfego em particular, contribuem para um desconforto que se faz sentir essencialmente nas sociedades tecnologicamente desenvolvidas. Nos dias de hoje praticamente todas as famílias possuem um veículo automóvel, muitas vezes mais do que um, motivando um excesso de poluição sonora.

O ruído incomoda, perturba, interfere no rendimento do trabalho e prejudica a saúde e o bem-estar. Segundo estudos feitos, mesmo em níveis que não prejudicam o sistema auditivo das pessoas, causa sérios prejuízos além de poder provocar distúrbios psicológicos.

A melhoria da qualidade de vida conseguida pelo aumento de mobilidade é notoriamente diminuída pelas suas consequências: poluição do ar, ruído, stress, entre outras.

1.2. OBJECTIVOS E ÂMBITO

O objectivo deste estudo insere-se no âmbito da nova regulamentação e dos novos ideais de cariz ambiental e social, na medida de tentar consolidar as práticas ambientais correntes, onde se observa um crescente incentivo no desuso dos veículos de transporte individual e no consequente uso de transportes públicos, pretende-se modelar o que realmente aconteceria face a essas mudanças.

As etapas que permitem alcançar os objectivos propostos são a realização de medições de ruído em vários locais, começando por fazer medições ininterruptas com o propósito de estabelecer intervalos de tempo mais reduzidos, representativos da média diária, para a realização de medições de ruído pontuais e contagem de tráfego. As informações recolhidas no decorrer das medições de ruído urbano têm como objectivo a actualização do Mapa de Ruídos do Porto, permitindo posteriormente usar esta mesma ferramenta para as modelações de tráfego e respectivas comparações entre as situações actuais e meditadas.

Um segundo objectivo reside na tentativa de relacionar directamente as contribuições individuais das fontes sonoras com o ruído equivalente urbano. Neste contexto, pretende-se medir o ruído provocado por diversos tipos de fontes sonoras, características do ruído urbano.

Este estudo estará limitado à área do Pólo Universitário da Asprela e à mobilidade automóvel das ruas Dr. Roberto Frias em especial e António Bernardino Almeida num plano mais secundário.

1.3. ENQUADRAMENTO SOCIAL, ECONÓMICO E AMBIENTAL

“Em 1900, 10% da população mundial vivia na cidade; em 2000, 50% e em 2025, espera-se cerca de 60%. O crescimento urbano do século XX é o resultado de uma mundialização económica e cultural, da difusão de novas tecnologias e mobilidades inéditas, da mesma forma que a Revolução Industrial influenciou o crescimento urbano do século precedente. Abre-se assim, o caminho a uma nova civilização urbana” - Francis Godard.

No sentido de perceber a evolução da utilização do automóvel é interessante numa primeira abordagem compreender a dinâmica evolutiva das cidades e da sua consequente mobilidade.

O conceito de “cidade” tem vindo a sofrer mutações ao longo da história, sendo definido de acordo com valores sociais, culturais, económicos e muitas vezes espaciais dependendo das diferentes épocas.

Desde a era medieval até aos tempos actuais a cidade e a sua definição têm evoluído progressivamente, muito particularmente no que diz respeito ao desenvolvimento arquitectónico e urbanista, tendo como base modelos geométricos que proporcionassem espaços amplos e isentos de obstáculos. Deste modo a circulação começa a ser uma preocupação no desenvolvimento das cidades.

Com a evolução de novas fontes de energia, no século XIX, dá-se um grande passo no desenvolvimento dos transportes, começando pelo comboio, que proporciona a revolução industrial. A revolução industrial por variadas razões marca uma nova era urbana caracterizada por algumas transformações: a racionalização das vias de comunicação, a especialização de sectores urbanos, o crescimento dos edifícios e armazéns. Com isto a cidade ultrapassa os seus limites físicos com o consequente aumento e deslocação para a periferia.

Este processo de migração para a periferia é maior no decorrer da segunda metade do séc. XX. A cidade com o seu centro e os seus limites bem definidos passa a ser definida por um território urbano incerto de contornos indefinidos e dinâmicos, criando uma grande mudança no conceito inicialmente explorado. Passamos então a ter metrópoles, megápoles, metápole, cidade alargada, ou ainda, áreas urbanas, áreas metropolitanas, regiões urbanas, entre outras designações.

Com o aparecimento do automóvel dá-se um dos grandes saltos na história da cidade e da mobilidade, e inicia-se a era da motorização.

Durante os anos 70, a mobilidade, já constituía um factor de desenvolvimento económico e social. Era esta a visão dos diferentes actores económicos, sociais e políticos. A sociedade beneficiava da crescente mobilidade de pessoas, bens e actividades

Muito recentemente com a racionalização das consequências ambientais em resultado do uso quase descontrolado do automóvel, novos problemas se instalaram e com eles a necessidade de politicamente terem de ser controlados através de lei, originando assim, a partir dos anos 80, em toda a Europa, preocupações ecológicas e a necessidade de reorientar as políticas dos transportes, no sentido da utilização dos transportes públicos e de preferência não poluentes.

A cidade torna-se irreconhecível com a actual e excessiva construção de betão, o desenvolvimento urbano desmesurado em altura, a grande aposta nas habitações citadinas assentes nas mesmas infra-estruturas de há 100 anos, a falta de áreas de domínio público, de parques de lazer ou zonas verdes, a elevada impermeabilização do solo a falta de mobilidade e o permanente congestionamento da cidade, mostrando mais uma vez que o Homem nem sempre consegue dominar os seus progressos, perdendo muitas vezes o controlo sobre a cidade que permanece em contínua mudança, transformando-a numa outra completamente diferente da que outrora conhecera.

Estudos revelam que cada vez mais o ruído é uma parte integrante no quotidiano das sociedades tanto de países desenvolvidos como países em fase de desenvolvimento, estando relacionado com algumas mudanças comportamentais, stress, problemas cardiovasculares, falta de concentração, entre outros fenómenos

Começam-se a observar cada vez mais actos de consciência social no que diz respeito a uma maior preservação da saúde e bem-estar tanto a nível individual como comunitária. A crescente aplicação de medidas minimizadoras de impactes ambientais vem a comprovar esta mudança de atitude.

Como consequência deste novo movimento social a redução do ruído urbano tem também sido tópico de debate e preocupação, a título de exemplo o novo Regulamento Geral do ruído aprovado pelo Decreto-Lei n.º 9/2007 contempla a elaboração de mapas de ruído, imposição de limites legais de níveis de pressão sonora entre outras medidas.

Em síntese, o ruído é um dos factores de poluição urbana intoxicante ligado à mobilidade. A forma como os diferentes meios de transporte afectam essa mobilidade e indirectamente o ruído é o objectivo deste trabalho.

1.4. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Este estudo organiza-se em 6 capítulos de forma a estruturar do geral para o particular o problema em análise.

Assim, no capítulo 1 intitulado “Introdução” apresentam-se os objectivos e motivação associados ao enquadramento.

No capítulo 2 “Propagação e Medição de Ruído” abordam-se considerações de acústica geral de um ponto de vista superficial, e apenas explicativo dos vários conceitos utilizados no decorrer do projecto apresentado, numa segunda parte, o ruído é inserido num contexto ambiental, do ponto de vista da actual legislação.

No capítulo 3 intitulado “Enquadramento Legal e Social” pretende-se justificar o objectivo final proposto com base nas actuais necessidades legais e sociais. Este capítulo explica a necessidade de realização de ferramentas necessárias no âmbito da redução de ruído urbano. Neste capítulo abordam-se também questões de mobilidade e movimentos pendulares de tráfego, finalizado com a caracterização da zona em estudo.

No capítulo 4 “Recolha e Análise de Dados” apresentam-se os dados recolhidos no decorrer deste projecto, a sua organização e análise. Aqui se apresentam as relações entre as medições contínuas e pontuais, e os valores de referência retirados que possibilitarão por fim atingir os objectivos propostos.

O capítulo 5 “Caso de Estudo” afiguram-se as simulações propostas, os seus resultados e as respectivas comparações de valores.

As conclusões retiradas ao longo deste projecto encontram-se no capítulo final, 6 “Conclusões e Perspectivas Futuras”, no qual se apresentam também algumas sugestões de posteriores considerações e estudos futuros.

2

PROPAGAÇÃO E MEDIÇÃO DE RUÍDO

O objectivo deste capítulo é abordar os conhecimentos de base, para uma melhor compreensão do posterior desenvolvimento do tema proposto.

A primeira parte é referente à componente físico-matemática do som, com referências a parâmetros básicos de caracterização do som e da sua propagação. Trata-se de um assunto de elevada complexidade, pelo que as considerações aqui expostas são apenas uma pequena exposição do extenso leque de assuntos que poderiam ser mencionados e aprofundados.

Na segunda parte, o ruído é enquadrado na actual legislação portuguesa. A análise efectuada do ponto de vista legal e normativa imprescindível pois todo o conjunto de acções experimentais de medição e caracterização de ruído ambiental passa pelo seguimento de determinados procedimentos padronizados.

2.1 SÍNTESE DE CONHECIMENTOS

O som pode ser definido como a variação de pressão molecular, no ar ou noutro qualquer meio elástico que provoca o estímulo do sistema auditivo dando resultado à percepção do som. No âmbito do tema de estudo proposto, apenas interessa abordar a propagação do som no ar.

O estudo do som tem apenas abordagens de teor matemático e físico, tais como a sua caracterização pela frequência, nível de pressão sonora, intensidade, entre outras características. Por outro lado a distinção entre som e ruído depende da abordagem psicológica do receptor, o ruído é por norma um som particularmente desagradável, como tal, é uma classificação parcial, uma vez que depende da interpretação e gosto individual da pessoa receptora. No entanto qualquer tipo de som produzido com uma intensidade capaz de causar danos físicos ou psicológicos é considerado ruído, independentemente da percepção do receptor. [1]

Basicamente a geração de ruído é causada pela variação de pressão do meio de propagação das ondas sonoras, causadas pela colisão de partículas umas contra as outras, sucessivamente, sem nunca ocorrer deslocamentos permanentes das mesmas uma que forças elásticas tendem a recolocar as respectivas partículas na sua posição original. Desta forma, uma das características mais importantes da propagação do som é a variação de pressão, provocada pelas ondas sonoras. Este valor é calculado através de um valor de referência, a pressão atmosférica normal que, no nosso planeta, adquire o valor de 101.400 Pa.

A pressão sonora não é mais do que a diferença entre a pressão ambiente, instantânea, em relação à pressão atmosférica, a partir da qual o ouvido humano é sensível.

2.1.1. CARACTERIZAÇÃO DO SOM

A caracterização do ruído pode ser efectuada pelo nível de pressão sonora e pela sua frequência, medida em hertz (Hz), este valor representa a taxa de ocorrência de flutuações completas de pressão por segundo, e em acústica é normalmente categorizada por três grandes zonas de frequências: graves (20 a 355 Hz), médias (355 a 1 410 Hz) e agudas (1 410 a 20 000 Hz) [2].

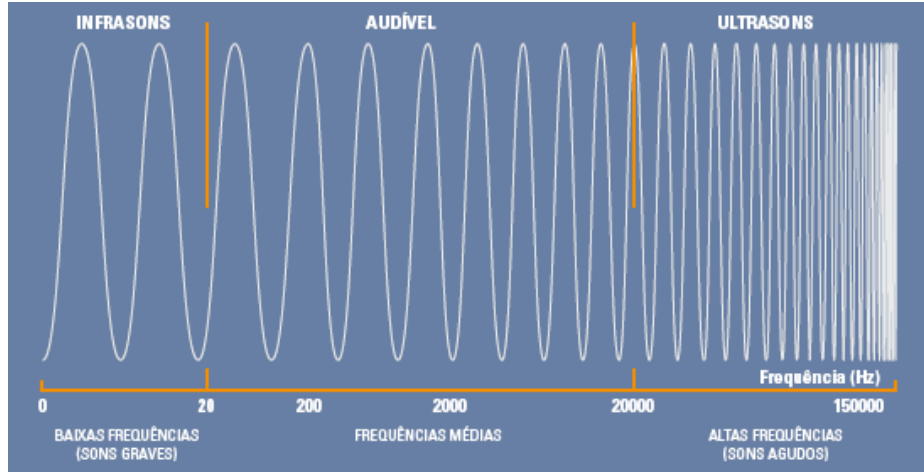


Fig. 2.1 – Caracterização gráfica da frequência [4].

O ouvido humano possui uma sensibilidade muito elevada, tendo em conta que a relação entre a pressão sonora de um som que seja audível e de um som que cause dor é da ordem de 1000000.

Uma vez que esta escala é muito alargada, e por isso pouco prática quando utilizada na sua unidade referêncial, o Pascal (Pa), é consequentemente mais vantajoso recorrer a uma conversão da escala linear em Pascal para uma escala logarítmica de nível de pressão sonora em decibel (dB) [4].

O nível de pressão sonora é então calculado da seguinte forma:

$$L_p = 10 * \log_{10} \left(\frac{p}{p_0} \right)^2 = 20 * \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad (2.1)$$

Sendo:

“ L_p ” nível de pressão sonora (dB)

“ p ” pressão sonora (Pa)

“ p_0 ” pressão sonora de referência (Pa)

A soma de dois níveis de pressão sonora, não pode deixar de ser também logarítmica, assim se existirem dois ruídos distintos, L_1 e L_2 , a sua soma será:

$$L_1 + L_2 = 10 * \log \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad (2.2)$$

Sendo:

“ L_i ” Nível de pressão sonora (dB)

Da qual se deduz uma expressão geral de adição de níveis

$$L_{total} = 10 * \log \sum 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.3)$$

Sendo:

“ L_i ” Nível de pressão sonora (dB)

Este valor não é, contudo, verdadeiramente representativo da sensação auditiva humana devido ao facto de sermos pouco sensíveis a frequências muito baixas (infra-sons, abaixo dos 20 hertz) bem como às muito altas (ultra-sons, acima dos 20 000 hertz).

O nível de pressão sonora deve, então, ser ponderado por um coeficiente dependente da frequência, com a intenção de ter em conta a diferente sensibilidade auditiva humana. Os coeficientes de correcção afectam sobretudo as frequências mais baixas e mais altas, como seria de esperar, e como tal, os sons mais graves e agudos.

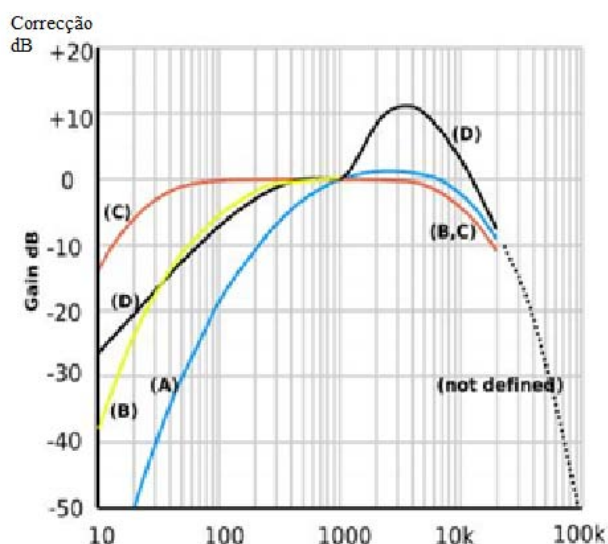


Fig.2.2 – Curvas de ponderação [22].

O filtro A foi inicialmente pensado para aproximar à realidade humana os ruídos de fraca intensidade, os filtros B e C formaram-se pelo mesmo raciocínio mas com incidência nos ruídos mais intensos. A curva D é especialmente usada para ruídos de aviões. Actualmente a curva A é quase universalmente aceite.

Obtém-se assim um nível de pressão sonora expresso em dB(A) – Nível de Pressão Sonora Ponderado A, que pretende descrever com mais rigor a sensação com que, efectivamente, o ser humano percebe determinado som. É com esta ponderação que se faz a descrição do ruído urbano e, como mais à frente se constatará, os indicadores de caracterização de ruído, preconizados na legislação nacional, vêm expressos em dB(A).

2.1.2. Caracterização de Fontes de Ruído

Na acústica de ruídos exteriores, as fontes sonoras de emissão de ruído podem ser caracterizadas de duas maneiras distintas: fontes pontuais e fontes lineares.

As fontes sonoras pontuais radiam energia sonora de forma idêntica em todas as direcções, são fontes que se podem considerar provenientes num único ponto do espaço.

As fontes sonoras lineares propagam-se em superfícies cilíndricas, ou seja, a origem do som provém de uma fonte que se desenvolve ao longo de um segmento de recta [2, 4].

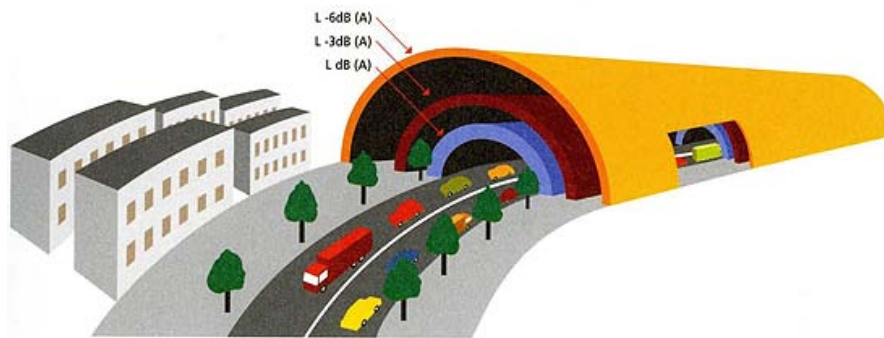


Fig. 2.3 – Exemplo de uma fonte linear [23]

A importância desta distinção de fontes sonoras deve-se ao cálculo de propagação de ruído, e respectiva atenuação com a distância à fonte, ser diferente para cada um dos casos. Este assunto será posteriormente abordado no enquadramento legal do ruído, pois o cálculo de atenuação de propagação do som no ar é normalizado, e dependente do tipo de fonte sonora.

2.1.3. Análise no Tempo

A inconstância dos níveis de pressão sonora na maioria dos ruídos do ponto de vista temporal obriga a recorrer ao factor tempo para descrever alguns fenómenos sonoros. Desta forma se recorrem a descritores estatísticos que permitem avaliar num único valor um acontecimento acústico ocorrido num dado intervalo de tempo.

A este parâmetro energético se dá o nome de “nível de pressão sonora contínuo equivalente” L_{eq} . Este parâmetro define um valor equivalente ao valor que seria necessário ocorrer durante um intervalo de tempo para produzir a mesma energia que o fenómeno acústico que se deseja avaliar. [2]

$$Leq = 10 * \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i * 10^{L_i/10} \right) \quad (2.4)$$

Sendo:

“ L_{eq} ” nível de pressão sonora equivalente (dB)

“ t_i ” tempo de ocorrência de um determinado som (minutos)

“ $T = \sum t_i$ ” corresponde à duração total de ocorrência do ruído a caracterizar, no período de referência em análise.

“ L_i ” nível de pressão sonora de um determinado som (dB)

2.2 ACÚSTICA DE EXTERIORES

No que diz respeito a ruído urbano, são muitas as fontes que promovem a sensação de incomodidade: ruído de circulação rodoviária, circulação ferroviária, ruído industrial, obras públicas, aeroportos, música alta em casa de um vizinho, etc...

A quantidade de fontes sonoras que provocam incomodidade são em número elevado um pouco devido à percepção do som que é por vezes parcial, tendo em conta que depende da opinião e sensibilidade de cada pessoa, como tal uma fonte sonora pode ser incómoda para uma determinada quantidade de pessoas e agradável para outras. Porém, de todas as fontes sonoras de ruído urbano, é o ruído de circulação rodoviária que mais frequentemente é acusado de causar incomodidade num maior

número de pessoas. É interessante referir que o ruído de uma estrada com tráfego médio equivale ao ruído gerado por uma televisão nas nossas casas ou ao ruído ambiente de conversação num café (no entanto do ponto de vista de incomodidade o ruído de uma auto-estrada é interpretado como desagradável, contrariamente ao do café). É ao longo de grandes infra-estruturas de transporte que o ruído se torna mais elevado, com níveis de pressão sonora capazes de causar imprevisíveis consequências na saúde humana [4].

O ruído urbano como fonte de poluição sonora, emitido pelos meios de transporte, industriais ou mesmo pelos vizinhos, leva a incalculáveis problemas de cariz psicológico que parecem prejudicar a capacidade de comunicação e concentração afectando consequentemente a redução da capacidade de realização de tarefas [5].

Torna-se por isso indispensável a formulação de regulamentos neste campo, pelo que cabe ao estado a criação de leis capazes de minimizar os efeitos negativos do ruído, de forma a garantir uma melhor qualidade de vida todos os cidadãos.

2.2.1. ENQUADRAMENTO LEGAL DO RUÍDO URBANO

Desde cedo na constituição Portuguesa de 2 de Abril de 1976, são salvaguardadas ao abrigo do artigo 66º, direitos e deveres directamente relacionados com o ambiente e qualidade de vida dos cidadãos:

“1. Todos têm direito a um ambiente de vida humano, sadio e ecologicamente equilibrado e o dever de o defender.

2. Para assegurar o direito ao ambiente, no quadro de um desenvolvimento sustentável, incumbe ao Estado, por meio de organismos próprios e com o envolvimento e a participação dos cidadãos:

a) Prevenir e controlar a poluição e os seus efeitos e as formas prejudiciais de erosão; (...)”

É na Lei de Bases do Ambiente, criada a 7 de Abril de 1987, com base nos princípios anteriormente enunciados, que se faz inicialmente referência ao ruído (artigo 22º):

“1 – A luta contra o ruído visa a salvaguarda da saúde e bem-estar das populações e faz-se através, designadamente:

a) Da normalização dos métodos de medida do ruído;

b) Do estabelecimento de níveis sonoros máximos, tendo em conta os avanços científicos e tecnológicos nesta matéria;

c) Da redução do nível sonoro na origem, através da fixação de normas de emissão aplicáveis as diferentes fontes;

d) Dos incentivos à utilização de equipamentos cuja produção de ruídos esteja contida dentro dos níveis máximos admissíveis para cada caso;

e) Da obrigação dos fabricantes de máquinas e electro-domésticos apresentarem informações detalhadas, homologadas, sobre o nível sonoro dos mesmos nas instruções de uso e facilitarem a execução das inspecções oficiais;

f) Da introdução nas autorizações de construção de edifícios, utilização de equipamento ou exercício de actividades da obrigatoriedade de adoptar medidas preventivas para eliminação da propagação do ruído exterior e interior, bem como das trepidações;

g) Da sensibilização da opinião pública para os problemas de ruído;

h) Da localização adequada no território das actividades causadoras de ruído.

2- Os veículos motorizados, incluindo as embarcações, as aeronaves e os transportes ferroviários estão sujeitos a homologação e controle no que se refere às características do ruído que produzem.

3- Os avisadores sonoros estão sujeitos a homologação e controle no que se refere às características dos sinais acústicos que produzem.

4- Os equipamentos electro-mecânicos deverão ter especificadas as características do ruído que produzem. (...)”[8]

Surge passado pouco tempo com o DL 251/87 de 24 de Julho de 1987, o primeiro documento em Portugal, com o objectivo de enquadrar e dar resposta ao problema da poluição sonora já enunciado na Lei de Bases do Ambiente, que deu pelo nome de “Regulamento Geral Sobre o Ruído”, onde se ditou estratégias e prevenções com intuito de salvaguardar a saúde e qualidade de vida das pessoas.

Ao fim de dois anos após a aprovação do Regulamento Geral do Ruído, tornam-se inevitável introduzir pequenas alterações ao citado regulamento, com o intuito de “ (...) esclarecer alguns aspectos sobre os quais foram suscitados questões e tornar mais exequíveis algumas das suas disposições (...)”[9], aprovando-se com esse intuito o DL292/89 de 2 de Setembro. Este regulamento manteve-se em vigor durante aproximadamente 12 anos, até ao aparecimento de um novo regulamento a 14 de Maio de 2001 com o DL 292/2000 de 14 de Novembro, com o objectivo de dar resposta à crescente exigência nos padrões de qualidade acústica, uma vez evidenciado que o seu antecessor se mostrava “ (...) claramente insuficiente para a salvaguarda da saúde e do bem estar das pessoas (...)” e começava a existir uma “ (...) conflitualidade social gerada por situações ligadas ao ruído (...)” [10]. Preconizou-se ainda uma nova designação, para além de se manter a designação primeiramente usada em 1987 (Regulamento Geral do Ruído), “ (...) com o intuito de salientar a força jurídica do normativo (...)” [10]: Regime Legal sobre a Poluição Sonora.

Novamente passado dois anos, e na sequência da aprovação da lei nº 159/99 de 14 de Setembro, que estabelece o quadro de transferências de atribuições e competências para as autarquias locais aprova-se o DL 259/2002 de 23 de Novembro propondo conferir aos municípios “ (...) um papel mais relevante, nomeadamente em matéria de ruído de vizinhança (...)” [11].

Três anos mais tarde, na sequência da “ (...) transposição da directiva nº 2002/497CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 25 de Junho, relativa à avaliação e gestão do ruído ambiente, tornou-se premente proceder a ajustamentos ao regime legal sobre poluição sonora (...) de modo a compatibilizá-lo com as normas ora aprovadas, em especial a adopção de indicadores de ruído ambiente harmonizados. (...) “. Surge então o DL 9/2007 de 17 de Janeiro, que aprova o novo regulamento que se encontra actualmente em vigor, ao qual se conferiu novamente e exclusivamente a primeira designação dada em 1987: Regulamento Geral do Ruído.

O Regulamento Geral do Ruído remete para diversos regulamentos complementares como por exemplo o ruído no trabalho, ruído nos equipamentos exteriores, ruído nos aeroportos e requisitos acústicos de edifícios.

2.2.2. Indicadores de Caracterização de Ruído Urbano

O RGR contempla o uso do indicador L_{den} expresso em dB(A), obtido pela fórmula:

$$L_{den} = 10 * \log \frac{1}{24} \left(13 * 10^{\frac{L_d}{10}} + 3 * 10^{\frac{L_e+5}{10}} + 8 * 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right) \quad (2.5)$$

Sendo:

“ L_{den} ” indicador de incomodidade (dB(A))

“ L_d ” nível de pressão sonora equivalente do período diurno (dB(A))

“ L_e ” nível de pressão sonora equivalente do período de entardecer (dB(A))

“ L_n ” nível de pressão sonora equivalente do período nocturno (dB(A))

Os indicadores L_d , L_e e L_n dizem respeito, respectivamente, aos níveis de pressão sonora para os períodos de dia (7:00hr – 20:00hr), entardecer (20:00hr – 23:00hr) e noite (23:00hr – 7:00hr) [10].

O RGR indica também quais os valores limite de exposição de ruído, em função do tipo de ocupação de zona. O actual regulamento especifica dois tipos de zonas: Sensíveis e Mistas.

As zonas Sensíveis são áreas definidas em planos municipais de ordenamento do território com vocação para uso habitacional, ou escolas, hospitais ou similares, espaços de lazer (existentes ou previstos), podendo conter pequenas unidades e comércio e de serviços destinados a servir a população local (tais como cafés e outros estabelecimentos de restauração).

As áreas definidas em planos municipais de ordenamento de ordenamento do território cuja utilização seja afectada a outros usos, para além dos referidos na definição de zona sensível, são consideradas zonas mistas.

Quadro 2.1 - Limites de Exposição em Função da Classificação de Zonas

Classificação de Zonas	L_{den} dB(A)	L_n dB(A)
Zonas Mistas	65	55
Zonas Sensíveis	55	45
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT existente	65	55
Zonas Sensíveis na proximidade de GIT não aéreo em projecto	60	50
Zonas Sensíveis de GIT aéreo em projecto	65	55
Receptores Sensíveis em Zonas não classificadas	63	53

2.2.3. Atenuação do Som na Sua Propagação ao Ar Livre

São vários os factores de contribuem para a atenuação da propagação do som ao ar livre. Em qualquer ponto, o nível de pressão sonora no receptor é consequência do nível de potência sonora da fonte emissora e da atenuação total verificada ao longo de todo o percurso que a onda sonora tem de percorrer entre o receptor e o emissor [2].

Os factores mais importantes na propagação e atenuação de ruído são [5]:

- Tipo de fonte (linear ou pontual);
- Distância à fonte;
- Absorção atmosférica;
- Vento;
- Temperatura e gradiente de temperatura;
- Barreiras e outros obstáculos;
- Absorção do solo;
- Reflexão;
- Humidade;
- Precipitação.

A norma portuguesa NP4361-2 contempla um método geral de cálculo da atenuação do som na sua propagação ao ar livre.

O método descrito na norma mencionada, consiste em algoritmos de análise por bandas de oitava, produzidos por fontes sonoras pontuais, que podem ser móveis ou estacionárias. Os algoritmos fornecidos são específicos para os seguintes efeitos físicos [14]:

- Divergência geométrica;
- Absorção atmosférica;
- Efeito do solo;
- Reflexão a partir de superfícies;
- Efeito de barreira.

As equações a utilizar são válidas para sons emitidos por fontes sonoras pontuais, no caso de fontes de ruído extensas, tais como tráfego rodoviário ou ferroviário, devem ser representadas por um conjunto de secções, possuindo cada uma determinada potência sonora e direccionalidade. Cada secção é calculada e caracterizada por um ponto representativo. Uma fonte linear pode ser então dividida em secções lineares, cada uma das quais representada no seu centro por uma fonte pontual.

No entanto, um conjunto de fontes pontuais pode ser descrito como uma fonte sonora pontual equivalente, situada no meio do grupo, quando: [14]

- “a) as fontes tenham aproximadamente a mesma importância e altura acima do nível do solo,*
- b) existam as mesmas condições de propagação entre as fontes e o ponto de recepção, e*
- c) a distância d da fonte pontual equivalente ao receptor, seja superior ao dobro da maior dimensão H_{\max} das fontes ($d > 2H_{\max}$)”*

Uma vez feitas as anteriores considerações, o nível sonoro contínuo equivalente, $L_{ft}(DW)$, deve ser calculado para cada fonte pontual, e suas fontes imagem, para as oito bandas de oitava com frequências nominais entre os 63 Hz e os 8kHz, a partir da equação:

$$L_{ft}(DW) = L_w + D_c - A \quad (2.6)$$

onde

“ L_w é o nível de potência sonora por bandas de oitava, em decibel, produzido pela fonte sonora pontual, relativo à potência sonora da referência de um picowatt (1 pW);

D_c é a correcção da directividade, em decibel, que descreve em que medida o nível sonoro contínuo equivalente da fonte sonora pontual se desvia, numa direcção dada, relativamente ao nível de uma fonte sonora pontual omnidireccional, produzindo um nível de potência sonora L_w ; D_c é equivalente ao índice de directividade D_l da fonte sonora pontual, acrescido de um índice de directividade D_Ω que tem em conta a propagação sonora em ângulos sólidos inferiores a 4π esteradianos; para uma fonte sonora pontual omnidireccional radiando num espaço livre, $D_c = 0\text{dB}$;

A é a atenuação por banda de oitava, em decibel, que ocorre durante a propagação da fonte sonora pontual ao receptor.”

O termo A de atenuação é dado pela fórmula:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{mis} \quad (2.7)$$

onde

“ A_{div} é a atenuação devida à divergência geométrica;

A_{atm} é a atenuação devida à absorção atmosférica;

A_{gr} é a atenuação devida ao efeito de solo;

A_{bar} é a atenuação devida a uma barreira;

A_{misc} é a atenuação devida a outros efeitos diversos.”

2.2.3.1. Divergência Geométrica

A atenuação por divergência geométrica, para uma fonte sonora pontual, corresponde à atenuação em campo livre de uma onda sonora esférica. O valor deste parâmetro é dado, em decibel, pela fórmula:

$$A_{div} = \left[20 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) + 11 \right] \text{ dB} \quad (2.8)$$

o parâmetro “d” é a distância da fonte ao receptor, em metros, e d_0 a distancia de referência (igual a 1 metro).

2.2.3.2. Absorção Atmosférica

A atenuação resultante da absorção atmosférica A_{amt} , é dada em decibel pela fórmula:

$$A_{atm} = \alpha \frac{d}{1000} \text{ dB} \quad (2.9)$$

onde:

“ α representa o coeficiente de atenuação atmosférica, em decibel por km, para cada banda de oitava, na frequência central respectiva.”

Quadro 2.2 – Coeficientes de atenuação atmosférica

Temperatura °C	Humidade relativa %	Coeficiente de atenuação atmosférica α , dB/km							
		Frequência central nominal, Hz							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0,1	0,4	1,0	1,9	3,7	9,7	32,8	117
20	70	0,1	0,3	1,1	2,8	5,0	9,0	22,9	76,6
30	70	0,1	0,3	1,0	3,1	7,4	12,7	23,1	59,3
15	20	0,3	0,6	1,2	2,7	8,2	28,2	88,8	202
15	50	0,1	0,5	1,2	2,2	4,2	10,8	36,2	129
15	80	0,1	0,3	1,1	2,4	4,1	8,3	23,7	82,8

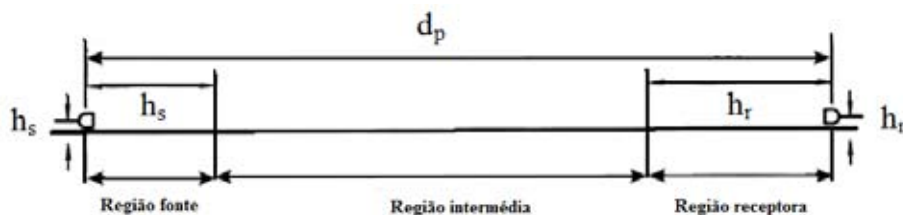
2.2.3.3. Absorção do Solo

O efeito do solo é também um factor de contribuição para a atenuação da propagação do som no ar, e a sua contribuição é calculada por meio de dois métodos: o método geral e o método alternativo de cálculo.

O método geral de cálculo estabelece que a atenuação devida ao solo, A_{gr} , é principalmente o resultado da interferência entre o som reflectido pela superfície do solo percorrido e o som que se propaga

directamente da fonte para o receptor. Este método é apenas aplicado quando os solos são aproximadamente planos, ou possuem uma inclinação constante.

São especificadas três regiões distintas para a atenuação devida ao solo, explicitas na figura 2.4



2.4 – Esquema das regiões de separação entre a fonte emissora e o ponto receptor [13]

A região “fonte” estende-se a partir da fonte sonora em direcção ao receptor, sobre uma distância de $30h_s$, com um máximo de distância d_p (h_s é a altura da fonte, e d_p a distancia entre a fonte e o receptor, projectada sobre o plano do solo). A região “receptora”, prolonga-se a partir do receptor em direcção à fonte, sobre uma distância de $30h_r$, com uma distância máxima d_p (h_r é a altura do receptor). A região intermédia é portanto a distancia que separa as duas regiões acima descritas, caso $d_p < (30h_s + 30h_r)$ as regiões receptora e fonte sobrepõe-se, deixando de haver região intermédia.

As características acústicas de cada região são caracterizadas por um factor, G , de acordo com três categorias de superfície reflectoras:

Quadro 2.3 – Relação entre G e as características do solo [14]

Tipo de Solo	Características	G
Solo Duro	Inclui pavimentos, água, gelo betão e qualquer superfície de solo possuindo uma baixa porosidade	$G = 0$
Solo Poroso	Inclui solos cobertos de erva, de árvores ou outra vegetação, e qualquer outra superfície adequada ao crescimento de vegetação	$G = 1$
Solo Misto	Se a superfície é constituída simultaneamente por solo poroso e solo duro	G toma um valor compreendido entre 0 e 1, correspondente à fracção da região que é porosa

A atenuação total do solo para cada banda de oitava é a soma dos componentes A_s , A_r e A_m correspondentes às regiões fonte, receptora e intermédia respectivamente, cada um deles correlacionado com o factor do solo G

Quadro 2.4 – Cálculo do parâmetros A_s , A_r e A_m [14]

Frequência central nominal	A_s ou A_r	A_m
Hz	dB	dB
63	-1,5	- 3q
125	- 1,5 + G x a' (h)	- 3q(1-G _m)
250	- 1,5 + G x b' (h)	
500	- 1,5 + G x c' (h)	
1000	- 1,5 + G x d' (h)	
2000	- 1,5(1-G)	
4000	- 1,5(1-G)	
8000	- 1,5(1-G)	

Os valores de a' , b' , c' , d' e q são calculados através das respectivas fórmulas:

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 \times e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \times d_p^2}) \quad (2.10)$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50}) \quad (2.11)$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \times e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/50}) \quad (2.12)$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \times e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50}) \quad (2.13)$$

$$q = 0 \text{ se } d_p \leq 30(h_s + h_r) \quad (2.14)$$

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \text{ se } d_p > 30(h_s + h_r) \quad (2.15)$$

No método alternativo a atenuação pode ser calculada de acordo com a equação (2.10), para qualquer tipo superfície de solo, tendo em conta as seguintes condições.

- Apenas o nível de pressão sonora ponderado A , na posição do receptor, tem interesse;
- A propagação do som ocorre sobre um solo poroso ou misto, cuja maior parte é porosa;
- O som não é um tom puro.

$$A_{gr} = 4,8 - (2h_m/d)[17 + (300/d)] \geq 0 \text{ dB} \quad (2.16)$$

onde

h_m é a altura média, em metros, do trajecto de propagação acima do solo.

d é a distância, em metros, entre a fonte e o receptor.”

2.2.3.4. Efeito Barreira

Um objecto que cumpra os requisitos para ser considerado uma barreira deve ser representado por uma barreira com duas arestas verticais. A aresta superior da barreira é uma linha recta que pode ser inclinada.

A absorção sonora por efeito barreira deve ser obtida pela perda por inserção. O efeito da difracção sobre uma aresta superior deve ser calculado por:

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \quad (2.17)$$

E a difracção sobre uma aresta vertical por:

$$A_{bar} = D_z > 0 \quad (2.17)$$

Onde

“ D_z é a atenuação da barreira para cada banda de oitava (...);

A_{gr} é a atenuação devida ao solo, na ausência de barreira (...).”

A atenuação da barreira, D_z , deve ser calculada tendo em conta apenas uma trajectória, de acordo com a equação (2.17):

$$D_z = 10 \lg [3 + (C_2/\lambda) C_3 z K_{met}] \quad (2.18)$$

Onde

“ C_2 é igual a 20 e inclui os efeitos de reflexões do solo; em casos especiais as reflexões do solo são consideradas separadamente por fontes espelho, $C_2=40$.

C_3 é igual a 1 para uma difracção simples (...);

$$C_3 = [1 + (5\lambda/e)^2] / [(1/3) + (5\lambda/e)^2] \quad (2.19)$$

Para uma difracção dupla (...);

λ é o comprimento de onda para a frequência nominal central de banda de oitava, em metros;

z é a diferença entre os comprimentos das trajectórias do som reflectido, (...), em metros;

e é a distância entre as duas arestas de difracção no caso da difracção dupla (...).”

na presença de uma difracção simples, o parâmetro “ z ” deve ser calculado de acordo com a equação (2.19), porém se a linha de visão entre a fonte sonora e o receptor passar acima da aresta superior da barreira o valor “ z ” toma sinal negativo:

$$z = [(d_{ss} + d_{sr})^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (2.20)$$

As grandezas d_{ss} e d_{sr} estão representadas na figura 2.6, “ a ” é a componente da distancia entre a fonte e o receptor, paralela à aresta, em metros.

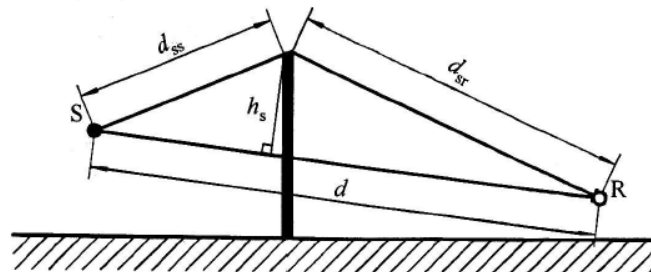


Fig.2.5 – Geometria de uma barreira acústica [13].

Para uma difracção dupla, como ilustrado na figura 2.7, “ z ” deve ser calculado de acordo com a equação (2.20):

$$z = [(d_{ss} + d_{sr} + e)^2 + a^2]^{1/2} - d \quad (2.21)$$

O factor de correcção meteorológica, K_{met} , é dado pela equação (2.21) se $z > 0$, ou toma valor um se $z < 0$.

$$K_{met} = \exp \left[-(1/2000) \sqrt{d_{ss} d_{sr} d / (2z)} \right] \quad (2.22)$$

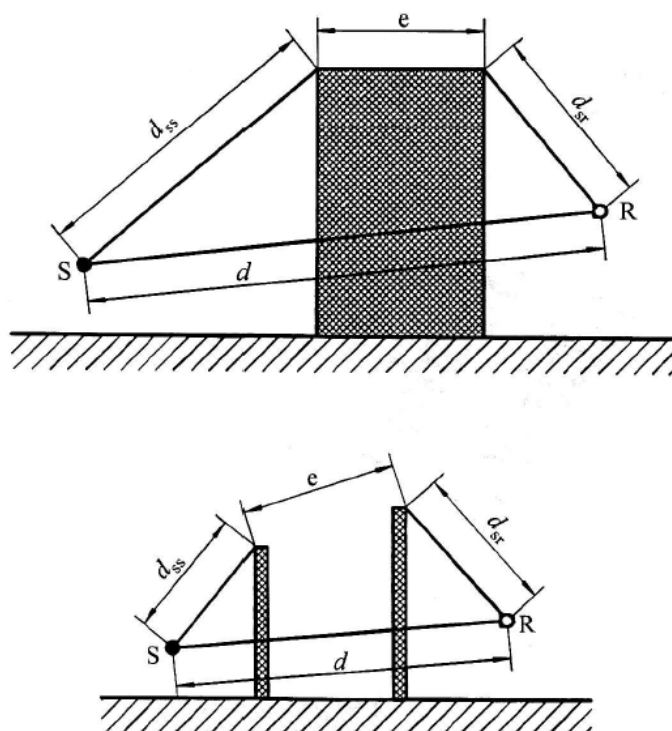


Fig.2.6 – Geometria de barreiras acústicas com duplas difracções [13].

Para qualquer banda de oitava, a atenuação por efeito de barreira não deve ultrapassar 20dB no caso da difracção simples, e 25dB no caso de difracção dupla.

2.2.3.5. Reflexões

As reflexões são encaradas em termos de fonte imagem, provêm de superfícies horizontais exteriores e de superfícies aproximadamente verticais. Ao contrário dos anteriores parâmetros, as reflexões aumentam o nível de pressão sonora.

O nível de potencia sonora da fonte imagem $L_{w,im}$ deve ser calculado através da equação (2.22).

$$L_{w,im} = L_w + 10 \lg(\rho) \text{ dB} + D_{lr} \quad (2.23)$$

Onde

“ ρ é o coeficiente de reflexão sonora no ângulo β sobre a superfície do obstáculo ($>0,2$)(...):

D_{lr} é o índice de directividade da fonte na direcção da imagem do receptor.”

2.2.3. PROPAGAÇÃO DE RUÍDO DE TRÁFEGO

O ruído de tráfego tem distintas fontes de emissão sonora:

- Tráfego rodoviário;
- Tráfego ferroviário;
- Tráfego aéreo;

- Tráfego naval (no âmbito do estudo de ruído urbano no Pólo da Asprela, esta situação não carece de desenvolvimento, uma vez que não tem significado prático).

Cada uma destas fontes de ruído tem modelos de análise e de cálculo distintos, bem como normas de aplicação características de cada país. É, portanto, importante referir quais as normas consideradas para cada uma das fontes de emissão sonora rodoviária, no que diz respeito à legislação portuguesa.

De acordo com o Anexo II do Decreto-Lei n.º146/2006: “os valores dos indicadores L_{den} e L_n podem ser determinados quer por metodologia de cálculo quer por medição (no ponto de avaliação). No caso de previsões, apenas é aplicável a metodologia de cálculo.”

“a) Os métodos provisórios de cálculo dos indicadores L_{den} e L_n são:

...

2) Para o ruído das aeronaves: ECAC/CEAC Doc.29, Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, 1997. (...)

3) Para o ruído de tráfego rodoviário: o método de cálculo francês NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), publicando no “Arrêté, du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal Officiel, du 10 mai 1995, article “6, e na norma francesa XPS 31-133. No que se refere aos dados de entrada relativos à emissão, estes documentos remetem para o “Guide du bruit des transports terrestres, fascicule prévision des niveaux sonores, CETUR, 1980”;

4) Para o ruído de tráfego ferroviário: o método de cálculo internacional Standaard-Rekenmethod II do Países Baixos, publicado na “Reken – Meetvoorschrift Railverkeerslawaal’96, Ministerie Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 20 de Novembro de 1996”.

Em alternativa, desde que seja demonstrada a obtenção de resultados equivalentes, pode ser utilizado o outro método adaptado e validado ao material ferroviário e às condições de circulação em território nacional;”[11]

2.2.4. MEDIÇÃO DE RUÍDOS EXTERIORES

O Decreto-lei 146/2006 estabelece que os valores dos indicadores L_{den} e L_n podem ser determinados quer por medição, quer por metodologia de cálculo.

O método provisório de medição tem por base os indicadores e os procedimentos descritos na norma portuguesa NP 1730:1996, «Acústica – Descrição e medição de ruído ambiente», ou na versão actualizada correspondente, como é o caso do projecto de norma portuguesa prNP 4423:2003.

Assim sendo, os procedimentos adoptados no decorrer da recolha de dados foram os prescritos na norma portuguesa prNP 4423.

O processo de medição começa com a escolha de um adequado equipamento de medição, que deverá ser um sonómetro integrador de classe 1, ou com sistema de medição e desempenho eficiente (antes de cada medição deverá ser verificado se o ruído de fundo do equipamento de medição é compatível com o ruído que se pretende medir). Independentemente do aparelho seleccionado este deverá ser calibrado antes e após cada medição, devendo ser repetida caso os valores lidos nas duas operações de regulação ultrapassem os 0,5 dB(A).

2.2.4.1. Condições de Medições

As medições no exterior devem ser efectuadas dentro dos limites da propriedade exposta ao ruído, onde se situam os receptores de ruído, no caso da impossibilidade de as medições serem efectuadas nestas condições deve ser escolhido um local que se situe na sua vizinhança imediata.

Preferencialmente os pontos de medição devem estar situados a uma distância superior a 3,5 metros de qualquer superfície reflectora e entre 1,2 m e 1,5 m acima do solo.

A escolha de um intervalo de tempo de medição deve permitir a obtenção de valores representativos da situação a caracterizar. Na situação mais favorável a duração da medição deve coincidir com o intervalo de tempo referência, correspondendo assim a uma medição em contínuo.

Caso não se efectuem medições em contínuo, é recomendado que se efectuem medições com um intervalo de tempo acumulado não inferior a 30 minutos, de modo a que cada amostra não seja inferior a 10 minutos (excepto quando a duração de um ruído particular seja inferior às durações recomendadas).

Nesta iniciativa serão realizadas medições de ruídos integrais, e com base nestas, identificar quais os intervalos de tempo úteis de medições mais fiáveis.

Juntamente com o regime de ocorrência dos acontecimentos acústicos, a representatividade de um intervalo de tempo de medição deve também incluir as condições meteorológicas típicas do local. Condições atípicas poderão conduzir a valores inconclusivos, deste modo, as medições devem ser efectuadas na ausência de chuva, e com velocidades do vento inferiores a 5ms^{-1} .

2.2.4.2. Determinação dos Níveis de Pressão Sonora

O indicador base do ruído é o nível de pressão sonora contínuo equivalente, ponderado A, $L_{A,eq,T}$.

A determinação do $L_{A,eq}$ do ruído ambiente e residual, deve ser efectuada tendo em atenção as condições de medições e os intervalos de tempo previamente referidos, a caracterização do $L_{A,eq}$ do ruído ambiente deve ser efectuada apenas durante a ocorrência do ruído particular da actividade ou actividades em avaliação, por outro lado a caracterização do nível sonoro, $L_{A,eq}$, do ruído residual deverá ser efectuada na ausência do ruído particular em análise.

Os intervalos de tempo escolhidos devem permitir analisar a variabilidade de emissões sonoras da fonte ou fontes de ruído em análise, para que deste modo se possam escolher o número de amostras a efectuar a o correspondente intervalo de tempo de medição.

2.2.4.3. Tratamento de dados

Sempre que seja necessário efectuar o cálculo da média logarítmica, de várias medições, deverá ser aplicada a seguinte expressão:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{\frac{(L_{Aeq,t})_i}{10}} \right] \quad (2.24)$$

Onde,

n é o número de medições;

$(L_{Aeq,t})_i$ é o valor do nível sonoro correspondente à medição i .

No caso de se revelar necessário calcular a média logarítmica ponderada com a ocorrência de patamares no ruído que se pretende caracterizar, pode ser aplicada a seguinte expressão:

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n t_i 10^{\frac{(L_{Aeq,t})_{ti}}{10}} \right] \quad (2.25)$$

Onde,

n é o número de patamares;

t_i é a duração do patamar i;

(L_{Aeq,t})_{ti} é o nível sonoro no patamar i;

T=∑ t_i corresponde à duração total de ocorrência do ruído a caracterizar, no período de referência em análise.

3

ENQUADRAMENTO LEGAL E SOCIAL

Uma vez efectuada uma análise ao som e a sua propagação ao ar livre, é fundamental referir qual o seu enquadramento prático em termos de análise legal e regulamentar.

A crescente preocupação com o direito do cidadão a um ambiente sadio, obriga a uma contínua evolução legislativa, no sentido de dar resposta às actuais exigências de qualidade de vida. Este capítulo pretende abordar os instrumentos legais que explicam e tentam solucionar a problemática em questão.

É também analisado o ponto de vista social, no que diz respeito à mobilidade, movimentos pendulares dentro da cidade do Porto, e mais concretamente dentro da zona em estudo, o Pólo da Asprela.

3.1. PLANO MUNICIPAL DE REDUÇÃO DE RUÍDO

O Decreto-Lei 9/2007 na sua constituição preconiza a elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído (PMRR), no âmbito do planeamento municipal. Os PMRR enquadram-se numa política preventiva e redutora dos efeitos prejudiciais do crescimento desmesurado do ruído ambiente, bem como na incoerência entre as actuais zonas urbanizadas que estão em desacordo na sua exposição a níveis elevados de ruído com o disposto na actual legislação [15].

Devem ser objecto de PMRR zonas sensíveis com ocupação expostas a ruído ambiente que excedam os valores limite de pressão sonora previamente mencionados no anterior capítulo (quadro 2.1), a sua elaboração é da responsabilidade das câmaras municipais [11].

Para municípios de média e grande dimensão, cuja população residente seja em número superior a 100.000 habitantes e densidade populacional igual ou superior a 2500 habitantes/km² estão sujeitos à execução adicional de planos de acção dispostos no Decreto-lei 146/2006, descritos no Anexo V do mesmo.

“1- Os planos de acção devem incluir, pelo menos, os seguintes elementos:

Uma descrição da aglomeração, das grandes infra-estruturas de transporte rodoviário, ferroviário e aéreo, tendo em conta outras fontes de ruído;

A entidade competente pela elaboração do plano e as entidades competentes pela execução das eventuais medidas de redução de ruído já em vigor e das acções previstas;

O enquadramento jurídico;

Os valores limites existentes no Regulamento Geral do Ruído;

Um resumo dos dados que lhes dão origem, os quais se baseiam nos resultados dos mapas estratégicos de ruído;

Uma avaliação do número estimado de pessoas expostas ao ruído, identificação de problemas e situações que necessitem de ser corrigidas;

Um registo das consultas públicas, organizadas de acordo com a legislação aplicável;

Eventuais medidas de redução do ruído já em vigor e projectos em curso;

Acções previstas pelas entidades competentes para os cinco anos seguintes, incluindo quaisquer acções para a preservação das zonas tranquilas;

Estratégia a longo prazo;

Informações financeiras (se disponíveis): orçamentos, avaliação custo-eficácia, avaliação custo-benefício;

Medidas preventivas para avaliar a implementação e os resultados do plano de acção.

2 – As acções que as autoridades pretendam desenvolver no âmbito das suas competências podem incluir:

Planeamento de tráfego;

Ordenamento do território;

Medidas técnicas na fonte de ruído;

Seleção de fontes menos ruidosas;

Redução de ruído no meio de transmissão;

Medidas ou incentivos reguladores ou económicos.

3 – Os planos de acção devem conter estimativas em termos de redução de número de pessoas afectadas (incomodadas, que sofram de perturbações de sono ou outras).” [12]

Em colaboração com os PMRR, devem ser realizados mapas de ruído, com o intuito de fornecer informação para atingir os seguintes objectivos:

- Preservação de zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros regulamentares;
- Correção de zonas sensíveis e mistas expostas a níveis sonoros superiores aos regulamentares;
- Desenvolvimento de novas zonas sensíveis e mistas com níveis sonoros compatíveis.

O desenvolvimento de um novo modelo de simulação tráfego permite testar diferentes configurações de trânsito, e como tal, de todo útil como ferramenta de apoio aos planos municipais redutores de ruído.

3.2. MAPAS DE RUÍDO

Os mapas de ruído são descritores do ruído ambiente exterior, expressos pelos indicadores L_{den} e L_n , expressos num documento onde se apresentam linhas isófonas e as respectivas áreas por elas delimitadas às quais correspondem uma determinada classe de valores expressos em dB(A). A sua elaboração é da responsabilidade das câmaras municipais com o intuito de apoiar a elaboração, alteração e revisão dos planos directores municipais e de ordenamento do território.

Para os municípios que possuam uma aglomeração de população residente em número superior a 100 000 habitantes e uma densidade populacional a 2500 habitantes/km², deve proceder-se à elaboração de mapas estratégicos de ruído, nos termos do disposto no Decreto-lei n.º 146/2006, 31 de Julho [11].

“ «Mapa estratégico de ruído» um mapa para fins de avaliação global da exposição ao ruído ambiente exterior, em determinada zona, devido a várias fontes de ruído, ou para fins de estabelecimento de previsões globais para essa zona”[11].

O Artigo 5.º do Regulamento Geral do Ruído atribui ao Instituto do Ambiente a responsabilidade de estabelecer as directrizes para a elaboração dos vários mapas de ruído previstos no quadro legal de ruído ambiente: mapas estratégicos de aglomerações e de grandes infra-estruturas de transporte, e mapas municipais.

“1-Incumbe ao Instituto do Ambiente:

a) Prestar apoio técnico às entidades competentes para elaborar mapas de ruído e planos de redução de ruído, incluindo a definição de directrizes para a sua elaboração;” [11].

3.2.1.DIRECTIVAS DE ELABORAÇÃO DE MAPAS DE RUÍDO

Para a criação do modelo digital do terreno, a cartografia base deve incluir a altimetria do terreno, a localização e altura de edifícios existentes e das fontes de ruído (como é o caso de infra-estruturas de transporte), bem como de obstáculos permanentes à propagação de ruído (por exemplo, barreiras acústicas).

Por vias da existência de potenciais fontes de ruído cuja existência afectem os níveis de pressão sonora da zona em estudo, o mapa de ruído deve abranger uma área superior à área a mapear.

3.2.1.1 Escala do mapa

A escala do mapa de ruído deverá ser igual ou superior a:

- 1:25 000, para articulação de Planos Directores Municipais, excepto nos municípios considerados como aglomerações;
- 1:5 000, para articulação com Planos de Urbanização e Planos de Pormenor, regulamentação própria sobre cartografia pode definir outras escalas neste caso;
- 1:10 000, para mapas estratégicos de aglomerações e de GIT.

Em resultado da escala de trabalho definida, a equidistância das curvas de nível será:

- 10 metros, para cartografia a 1:25 000;
- 5 metros, para cartografia a 1:10 000;
- 1 ou 2 metros, para cartografia a 1:5 000 ou superior.

3.2.1.2. Caracterização das fontes sonoras

Os mapas municipais de ruído são o resultado da contribuição de quatro tipos de fontes sonoras: tráfego rodoviário, ferroviário, aéreo e fontes fixas. A caracterização das mesmas deve subdividir-se em duas vertentes: física e quantitativa.

A caracterização física desenvolve-se de acordo com o seguinte método:

- Rodovias – n.º de faixas de rodagem e respectiva largura, declive da via, tipo de piso;
- Ferrovias – n.º de vias de circulação, respectiva largura, tipo e balastro e de carril;
- Aeroportos e aeródromos – comprimento da(s) pista(s), coordenadas do início e fim da(s) pista(s) e de outros pontos de referência;
- Fontes fixas – tipo e número de fontes.

No que diz respeito à caracterização quantitativa, o seu método é o seguinte:

- Rodovias - n.º de veículos por hora e percentagem de pesados, por período de referência, velocidade média e modo de circulação, ou, em alternativa, níveis de potência sonora por metro linear de via por bandas de frequência;
- Ferrovias – por período de referência e por tipo de composição: o n.º de passagens, comprimento e velocidade médios, tipos de locomotiva, % da composição com travões de disco, ou, alternativamente para cada tipo de composição: dados de emissão, quando não for possível corresponder o material circulante com o da base-de-dados do modelo.
- Aeroportos ou aeródromos – tipo específico de aeronave, complementado com a informação da certificação acústica da aeronave; n.º de movimento por tipo específico de aeronave, período de referência e tipo de operação, bem como, percentagem de utilização de cada pista e rota e categoria de voo à descolagem para cada tipo de aeronave;
- Pontes fixas – níveis de potência sonora por bandas de frequência e directividade.

3.2.1.3. Peças escritas e desenhadas

Um mapa de ruído inclui peças escritas (memória descritiva e resumo não técnico) e desenhadas (cartogramas).

Devem ser obedecidos os seguintes requisitos:

- A memória descritiva deve conter a explicação das condições em que foi elaborado o mapa e dos pressupostos considerados, incluindo os dados de entrada;
- Um resumo não técnico, destinado à divulgação ao público, deve incluir os cartogramas, incluindo, pelo menos a seguinte informação: denominação da área a abranger e toponímia de lugares principais, identificação dos tipos de fontes sonoras consideradas, métodos de cálculos adoptados, escala, ano a que se reportam os resultados, indicador de ruído L_{den} e L_n e por fim a legenda para a relação cores/padrões-classes de níveis sonoros (quadro 3.1).

Quadro 3.1 – Códigos de cores e padrões de um mapa de ruídos

Classes do Indicador	Cor	RGB	Padrão de sombreamento	Dim/Esp
$L_{den} \leq 55$	ocre	255,217,0	linhas verticais, media densidade	0,5 / 4
$55 < L_{den} \leq 60$	laranja	255,179,0	linhas verticais, alta densidade	0,5 / 2
$60 < L_{den} \leq 65$	vermelhão	255,0,0	linhas cruzadas, baixa densidade	0,5 / 8
$65 < L_{den} \leq 70$	carmim	196,20,37	linhas cruzadas, média densidade	0,5 / 4
$L_{den} > 70$	magenta	255,0,255	linhas cruzadas, alta densidade	0,5 / 2
$L_n \leq 45$	verde escuro	0,181,0	pontos grandes, alta densidade	6 / 6
$45 < L_n \leq 50$	amarelo	255,255,69	linhas verticais, baixa densidade	0,5 / 8
$50 < L_n \leq 55$	ocre	255,217,0	linhas verticais, media densidade	0,5 / 4
$55 < L_n \leq 60$	laranja	255,179,0	linhas verticais, alta densidade	0,5 / 2
$60 < L_n \leq 65$	vermelhão	255,0,0	linhas cruzadas, baixa densidade	0,5 / 8

3.2.1.4. Software de Cálculo

A elaboração de mapas de ruídos não é realisticamente possível sem o uso de um software de cálculo. Para o presente caso de estudo, foi utilizado o software Previsional de Ruído CadnaA versão 3.6, desenvolvido pela firma Datakustic GmbH, o qual corresponde às necessidades de cálculo dos níveis de ruído em qualquer zona urbana, sendo uma ferramenta tecnologicamente adaptada para a cartografia de ruído em áreas urbanas de grande complexidade.

Este software, especificamente, responde às exigências regulamentares portuguesas, uma vez que utiliza as normas de cálculo de ruído industrial, rodoviário, ferroviário e aéreo, recomendadas na legislação portuguesa.

Para a realização de um mapa de ruídos, é inicialmente imprescindível elaborar o mapa topográfico da área urbana (este pode ser elaborado directamente no software, ou importado como ficheiro de AtlaGis, DXF ou SICAD entre outros).

A caracterização e o cálculo de ruído de uma zona urbana, é um acto de extrema pormenorização e complexidade, pois depende de inúmeros factores, tais como, a topografia do terreno (condicionante da altura relativa das fontes sonoras e edifícios), a caracterização material de todos os materiais considerados (como é o caso dos materiais das fachadas de edifícios, podendo ser mais ou menos reflectivo, ou no caso de vias de comunicação que diferem entre si no tipo de pavimento, e como consequência no ruído característico emitido).

No cálculo de um mapa de ruídos são considerados diversos tipos de fontes. Fontes especiais tais como: estradas, caminhos-de-ferro, parques de estacionamento e zonas controladas por sinalização automática (semáforos), requerem a definição de valor de emissão característico em L_w , ou o cálculo do valor de emissão sonora é realizado tendo em conta um determinado conjunto de parâmetros de caracterização das fontes (tais como o tipo de piso da via de comunicação, o número de veículos que passa por hora, velocidade média de passagem, entre outras).

Adicionalmente a estas fontes referidas, existem ainda fontes pontuais, caracterizadas por um ponto de reduzida dimensão, fontes lineares, estendidas em apenas uma direcção, enquanto as restantes direcções octogonais são reduzidas quando comparadas com a distancia do emissor à fonte, e ainda fontes referentes a uma área, podendo estar representadas horizontal ou verticalmente.

Uma das opções de cálculo, passa pela activação, ou não, da reflexão das fachadas de edifícios, eventualmente com a entrada directa do coeficiente de absorção do material de revestimento do obstáculo.

Estas são apenas algumas das inúmeras considerações que efectuadas, possibilitam a caracterização acústica de uma área urbana.

Com recurso a esta ferramenta de cálculo, foram elaborados vários mapas de ruído a partir de um mapa de base já concretizado. Dos quais: um mapa de ruído aferido com os valores retirados dos dados obtidos no decorrer do projecto, e vários mapas com simulações de tráfego.

3.3. MOBILIDADE

No contexto do trabalho realizado, este tema é de especial interesse, porém não lhe será dada a oportunidade de ser verdadeiramente desenvolvido, em parte devido à sua complexidade. Deste modo, apenas se apresenta um pequeno enquadramento da mobilidade e de algumas das suas consequências ambientais e sociais.

A mobilidade não possui um carácter singular dos actuais modos de organização política e social. Contudo, ganha contornos genuínos nos tempos recentes pois molda-se às próprias transformações económicas e sociais verificadas mundialmente após a década de 90 do século XX

O conceito de mobilidade por ser assumido como um estilo de vida, não somente de determinados grupos, mas de sociedades inteiras fazendo até parte dos mundos privados de cada indivíduo.

Assim sendo, a mobilidade como capacidade de deslocação e de ultrapassagem de fronteiras de vários tipos, que distinguem domínios diferentes no espaço e no tempo, surge hoje em dia, como a ponte definida entre o privado e o público, quaisquer que sejam e onde quer que se situem. A mobilidade não é somente a deslocação e a transacção, implica a consciência sobre a capacidade de o fazer, daí que seja entendida como peculiar nas sociedades modernas porque estas são tecnológicas e porque estas facilitam o alargamento do leque de possibilidades de mobilidade oferecendo uma panóplia alargada de instrumentos e de objectos cuja principal função é garantir ao sujeito a possibilidade de se manter, em simultâneo, no espaço-tempo privado e no espaço tempo-público. Um dos objectos preferidos no estudo das mobilidades tem um papel central na história da Humanidade a todos os níveis de análise: o automóvel. [17]

Uma das externalidades muito negativas da mobilidade actual nas grandes cidades, é a poluição atmosférica, com todas as consequências nefastas na saúde dos habitantes. A circulação automóvel é a grande responsável pelas concentrações de poluentes na atmosfera urbana, verificadas na quase totalidade das cidades Europeias.

Ou seja, o aumento da poluição atmosférica e sonora soma-se as dificuldades de congestionamento, tornando desagradáveis as deslocações na cidade, prejudicando qualidade de vida, e expondo parte da população a riscos de saúde. É cada vez mais evidente que, a longo prazo a mobilidade insustentável e ineficiente terá um efeito prejudicial na economia das cidades [18].

Tentar resolver estes problemas de mobilidade urbana, é uma das prioridades das políticas de transportes e ambiente da União Europeia. O Livro Verde refere a propósito, que *“o objecto é reduzir o congestionamento, os acidentes e os problemas ecológicos como parte de uma resposta às actuais tendências para o transporte insustentável.”* [19]

Existe uma necessidade urgente de experimentar e diversificar novas políticas e práticas de sustentabilidade. Muitas cidades europeias já definiram abordagens inovadoras, concebidas ao nível das comunidades locais pelo que é importante que as cidades criem estruturas políticas para as desenvolver. Será uma experiencia de todo valiosa para os responsáveis políticos poderem comparar uma cidade que continua a construir ruas novas, com uma cidade semelhante que restringe activamente o tráfego.

A dependência relativa dos automóveis nas áreas urbanas, implica que as cidades devam contribuir para a redução do transporte numa quota superior à da população. Em complemento, alcançar a mobilidade urbana sustentável, é um passo crucial no melhoramento global do ambiente urbano e na manutenção da vitalidade económica das cidades.

A longo prazo, será necessário reduzir o transporte para atingir uma forma de mobilidade urbana mais sustentável e para melhorar a acessibilidade.

A curto prazo, será necessário entre outras coisas, ter elementos concretos relacionados com a geração das deslocações e portanto, com a procura de transporte. As acções em direcção à sustentabilidade nos domínios da mobilidade e da acessibilidade urbana, que tem sido promovidas até à data, parecem ser dirigidas para a redução do tráfego rodoviário e do congestionamento, essencialmente pelo incentivo ao aumento do número de ruas pedonais em zonas históricas, à mudança dos automóveis particulares para os transportes públicos, de formas de distribuição desorganizadas para políticas de cargas e descargas coordenadas e, menos frequentemente, para o ciclismo e a deslocação a pé. [18]

3.4. MOVIMENTOS PENDULARES

De acordo com uma análise de deslocações em transporte individual efectuada no sentido de compreender os principais fluxos ocorridos num período de ponta, no que diz respeito às inter-relações entre o Porto e os concelhos vizinhos, facto que afecta a zona em estudo.

A cidade do Porto constitui um pólo de atracção significativo de deslocações realizadas em automóvel, muito particularmente, no que diz respeito no período de ponta da manhã (entre as 7:30 e as 9:30).

A seguinte figura ilustra uma estimativa das deslocações efectuadas na cidade do Porto na hora de ponta matinal. Observa-se que existe um desequilíbrio entre entradas e saídas, sugerindo uma polarização do Porto em relação às cidades vizinhas em matéria de emprego. Contribui também a forte concentração de equipamentos sociais de nível superior, como estabelecimentos hospitalares e de ensino superior.

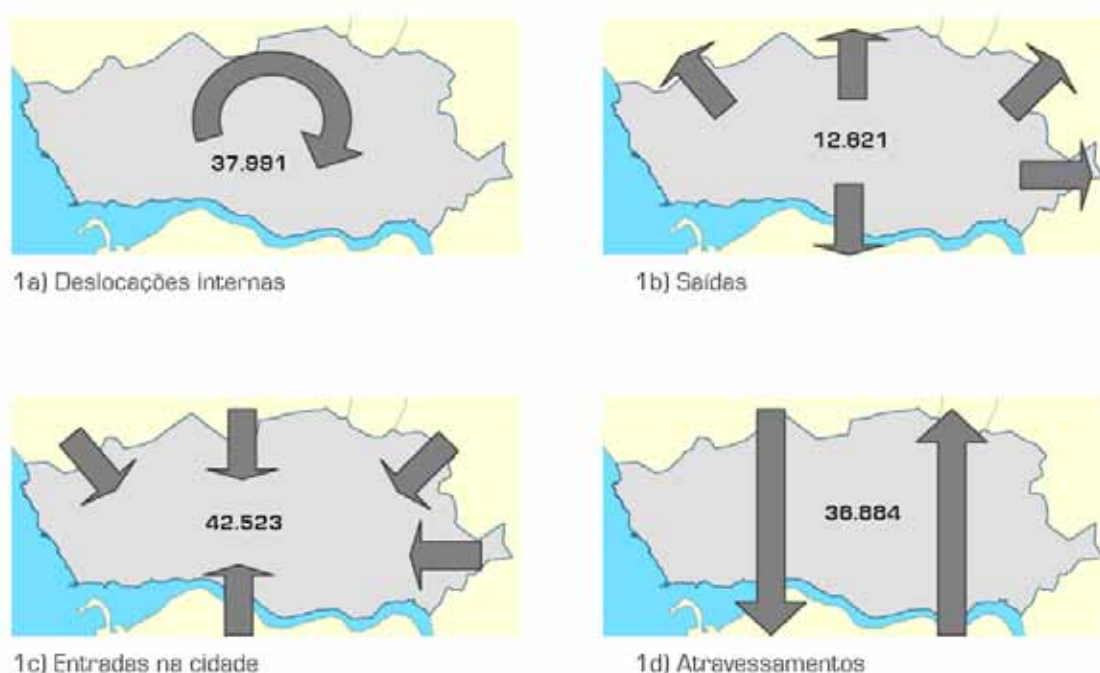


Fig.3.1 – Volume de entradas e saídas na cidade do Porto [20]

Muitos dos movimentos são de atravessamento da cidade, e pelo que se pode observar pela anterior figura, atingem um volume total muito próximo dos movimentos internos à cidade (deslocações com origem e destino no Porto). Tal é particularmente evidente no caso das principais ligações entre o Porto e os concelhos vizinhos, como as pontes da Arrábida e do Freixo, o IC1, a EN13, o IC29 e a ligação às auto-estradas A3 e A4, como é possível aferir pelas figuras seguintes. [20]

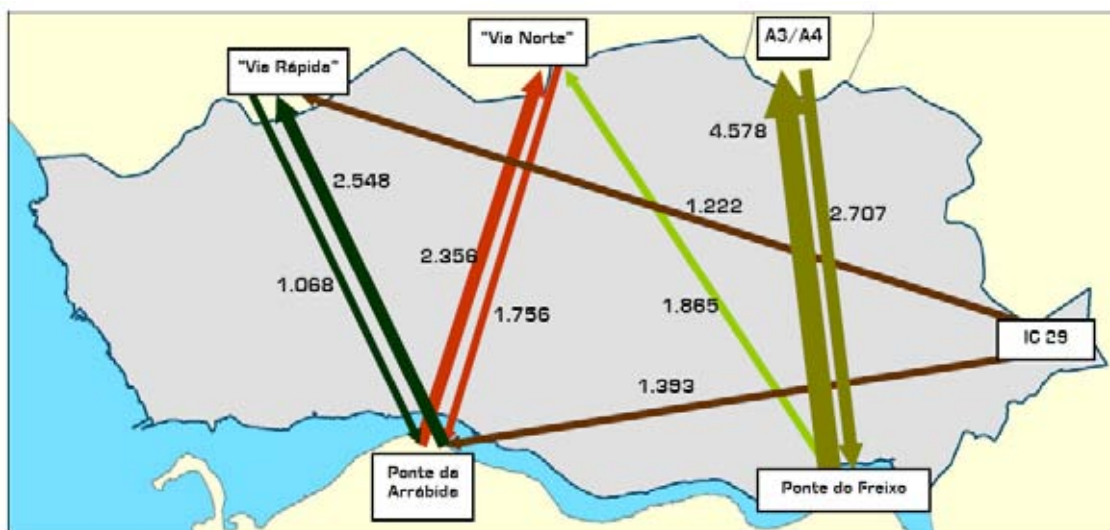


Fig.3.2 – Movimentos Pendulares [20]

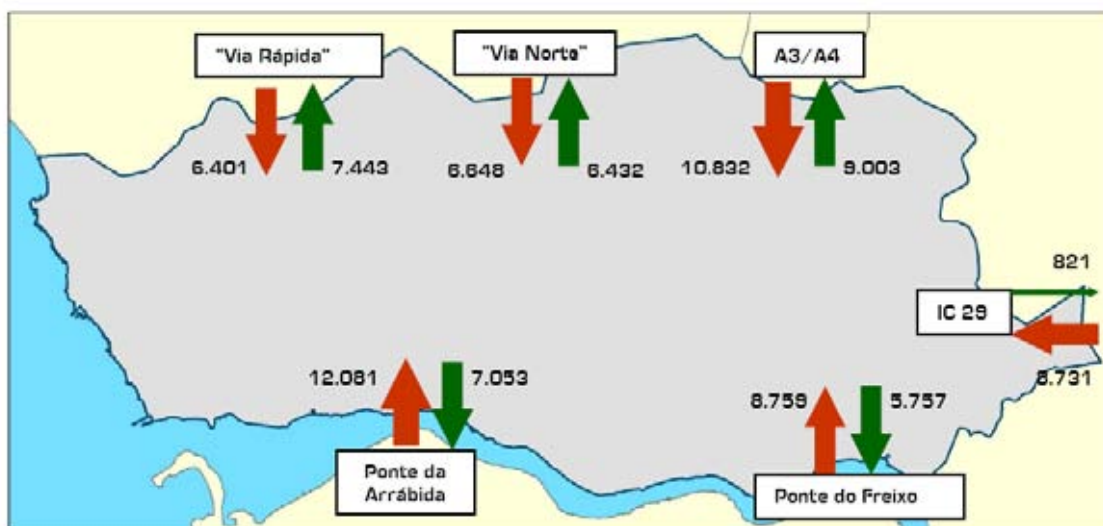


Fig.3.3 – Entradas e saídas nos principais acessos à cidade do Porto [20]

Conclui-se assim, que a cidade do Porto apresenta um desequilíbrio de deslocações, como consequência da afluência de tráfego desmesurada face à evacuação registada.

Em primeiro lugar, refira-se o elevado volume de deslocações em transporte individual na cidade do Porto, e que se traduz num total de 93 mil viagens em automóvel registadas no período da ponta da manhã (entre as 7h30 e as 9h30) e que têm origem e/ou destino no Porto. As entradas de veículos automóveis na cidade ultrapassam os 42 mil veículos, dos quais 30 mil dirigem-se para a zona urbana central, área delimitada pela VCI. Neste período de tempo, o tráfego automóvel gerado é superior a 2.200 veículos por Km², com muito maior intensidade na zona central, facto revelador da densidade da circulação automóvel e da pressão de estacionamento que este fluxo acarreta. Ter-se-á ainda de ter presente o impacto da circulação do tráfego de passagem.

A análise a uma escala mais fina permite concluir que determinadas zonas da cidade constituem o destino de uma elevada proporção dos movimentos. É o caso, sobretudo, da 'Baixa' e do centro histórico, da envolvente à "rotunda" e Avenida da Boavista e do pólo da Asprela (zona em estudo).

3.5. ÁREA DE ESTUDO

A análise deste tema é feita exclusivamente no Pólo da Asprela, dentro da cidade do Porto. A sua análise é interessante, pois retrata uma área de especial relevo no que toca a equipamentos públicos de saúde e ensino, pelo que deveria ser um alvo de estudo e correcção, agora sugerido pela actual legislação.

A área em estudo é composta por um equipamento de saúde público (hospital S. João) e um equipamento de ensino (Faculdade de Desporto da Universidade do Porto). Na delimitação da área em estudo encontram-se outros equipamentos de ensino. Como tal, trata-se de um local não habitacional.

A figura 3.4 ilustra os equipamentos e as ruas que compõem a área analisada. Assim sendo limites da área são as ruas Dr. Roberto Frias, António Bernardino Almeida bem como a respectiva rua de ligação das duas ultimas referidas, e a Alameda Prof. Hernâni Monteiro



Fig.3.4 – Mapa da zona de estudo [25]

A planta de condicionantes, cedida ao público pela Câmara Municipal do Porto, demarca as zonas sensíveis (preenchidas a azul), e mistas (preenchidas a amarelo), bem como as zonas de protecção e equipamentos públicos. A Figura 3.4 é um extracto dessa mesma planta, com incidência na zona em estudo, e pelo que se pode observar, uma grande percentagem da área está identificada como área sensível, contando que é maioritariamente composta por equipamentos de saúde e ensino.

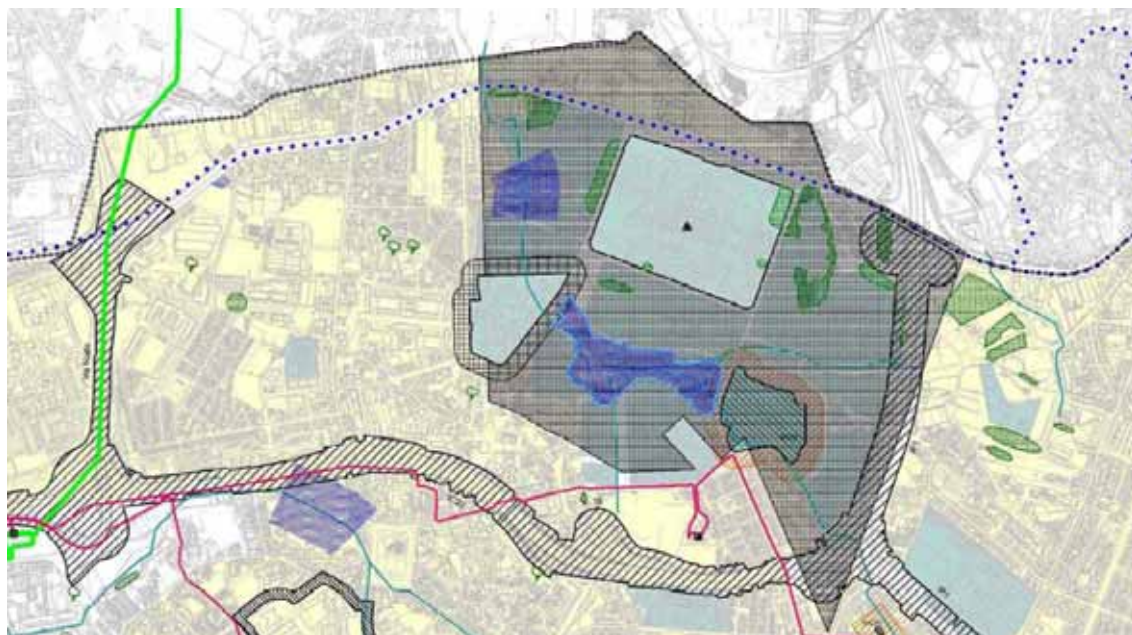


Fig.3.5 – Mapa de classificação de zonas da cidade do Porto [24]

Mais uma vez fazendo referência ao estudo de movimentos pendulares efectuado à cidade do Porto, constata-se que o Pólo da Asprela é uma zona sujeita a uma grande quantidade de deslocações. As figuras seguintes quantificam as entradas e as saídas por zonas. [20]. Como se pode concluir, nesta zona existem elevados volumes de tráfego, com um volume de entradas e saídas de 1000 a 2000 veículos apenas na hora de ponta.

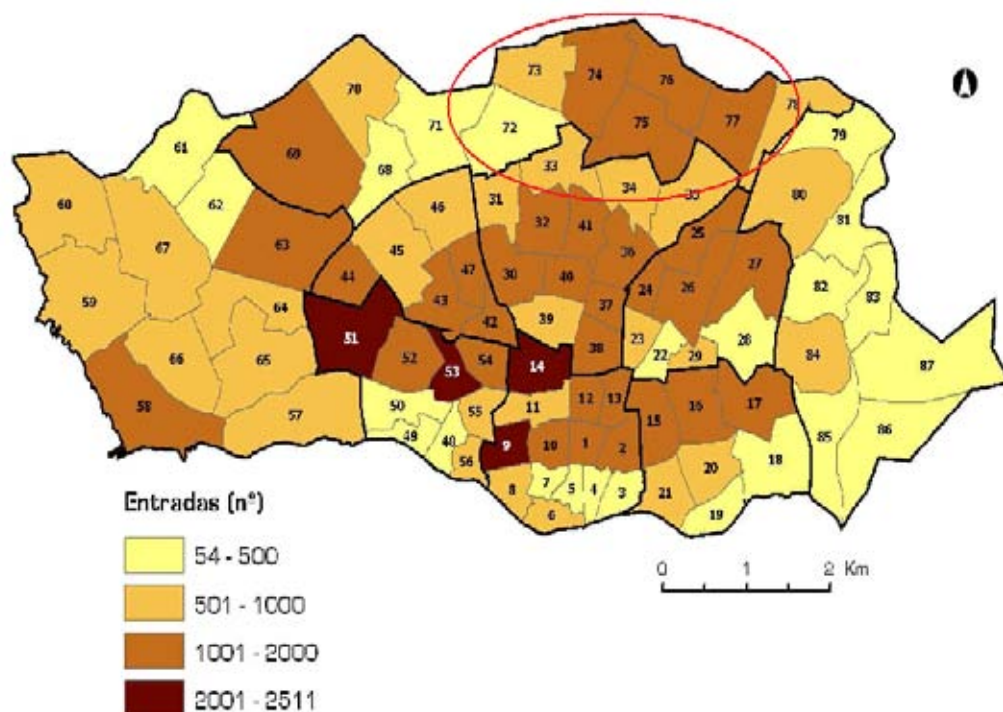


Fig.3.6 – Número de entradas de veículos por zona [20]

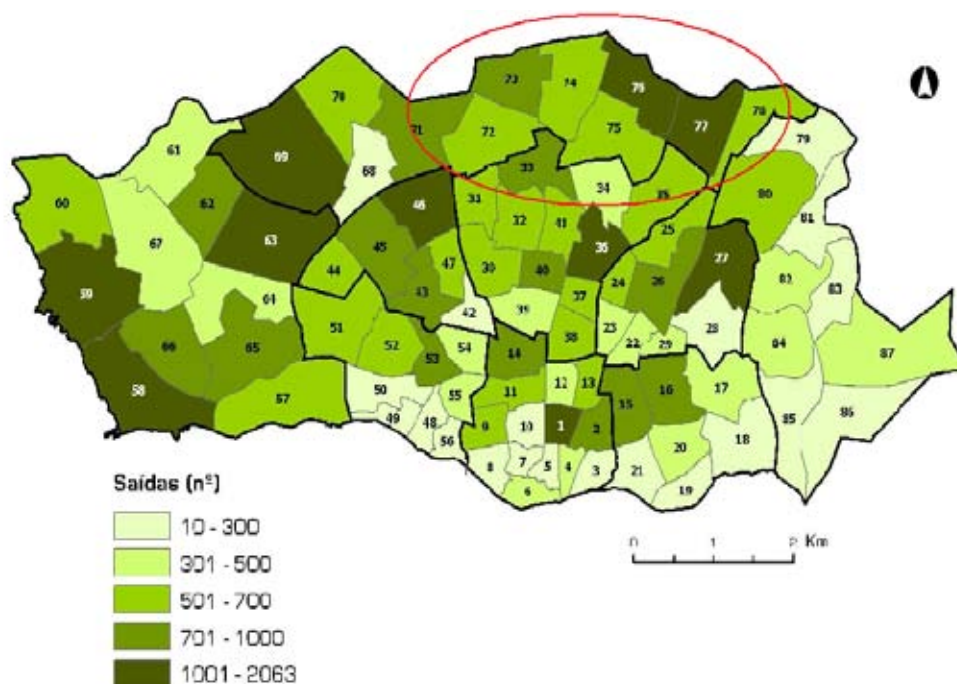


Fig.3.7 – Número de saídas de veículos por zona

A zona do Pólo da Asprela é uma das mais acedidas por veículos de transporte quer individuais quer públicos. Como tal o seu estudo é, no âmbito de novas políticas de sensibilização para a redução do uso automóvel, de todo útil.

Pretende-se, nos capítulos seguintes, recolher o Mapa de Ruído e analisar os seus descritores.

Proceder-se-á a uma campanha de medições com o objectivo de: aferir o Mapa de Ruído do Porto. Identificar perfis de ruído para caracterizar os intervalos de tempo mais úteis de modo a focalizar as medições pontuais noutro ponto com a respectiva caracterização de tráfego, e por fim analisar o ruído de passagem de automóveis e pesados individualmente.

Com base nos dados retirados será realizada a modelação do Mapa de Ruído, fazendo variar o número de pesados e ligeiros, e daí retirar conclusões sobre mobilidade e quais as suas consequências do ponto de vista acústico.

4

RECOLHA E ANÁLISE DE DADOS

4.1. MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA

A recolha de dados começou por ser efectuada sob a forma de monitorização contínua, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) num pátio situado a aproximadamente 12 metros da altura do solo.

As medições foram realizadas com recurso a um sonómetro de classe 1, da marca 01 dB, devidamente calibrado, e um microfone da mesma marca, ambos certificados, posicionado como ilustra a figura 4.1.

É fundamental referir que, no período de aquisição de dados, o Pólo da Asprela permaneceu continuamente com obras, espalhadas por diversas zonas, pelo que os dados estarão inevitavelmente afectados, e poderão estar de algum modo afastados da realidade quotidiana da zona em questão.

As medições não foram realizadas, por motivos práticos, de um modo inteiramente contínuo. O Quadro 4.1 traduz os intervalos de tempo de cada medição, representados pelas zonas marcadas a cinzento.



Fig.4.1 – Sonómetro colocado no ISEP

Quadro 4.1 – Horário das medições contínuas

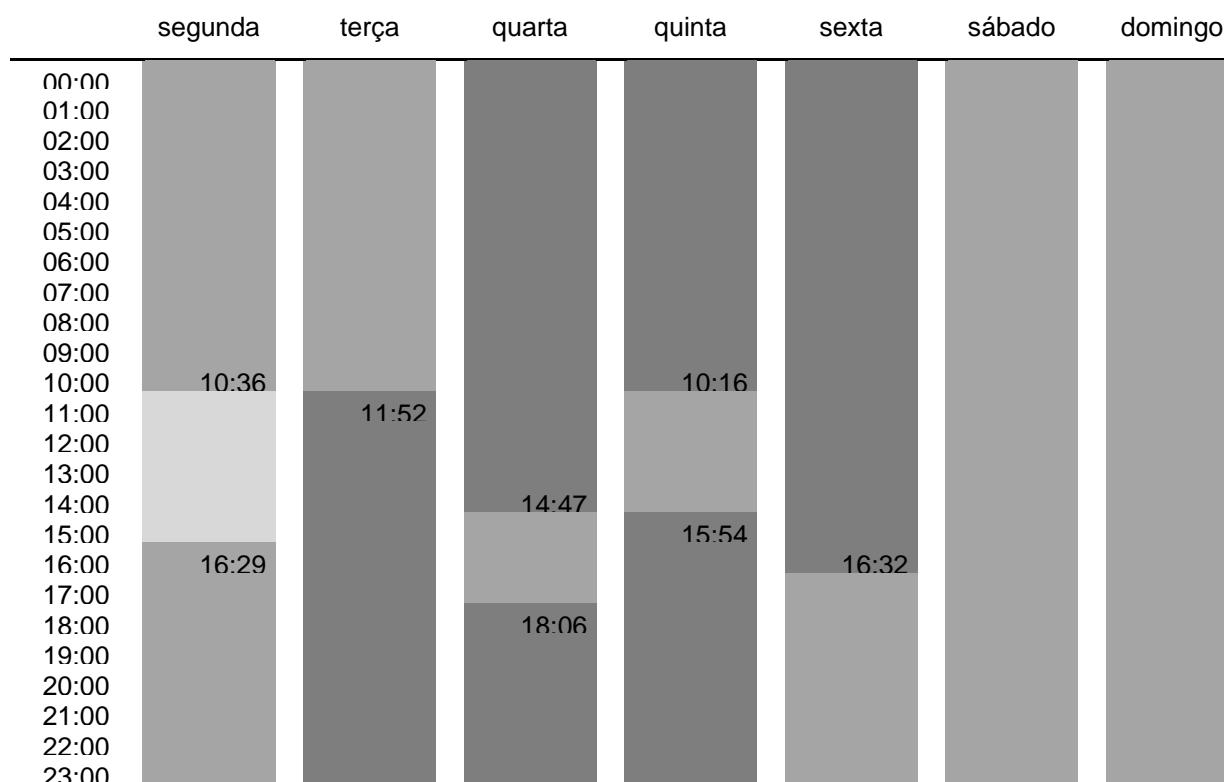
	27-Abr	28-	29-	30-	01-	02-	03-	04-	05-	06-	07-
Período Nocturno											
Período Diurno	16:29										15:16
P. de Entardecer											
P. Nocturno											
	19-Mar	20-Mar	24-Mar	25-Mar	26-Mar	27-Mar	28-Mar	29-Mar	30-Mar		
Período Nocturno											
Período Diurno	15:54	16:32	11:52	15:47						10:36	
P. de Entardecer				18:06							
P. Nocturno											

A pluralidade de dados permite obter um padrão de ruído característico da zona, doutro modo, um registo singular poderia ser anómalo (consequente de uma actividade não recorrente), e como tal com reduzida fidelidade. Deste modo, caso se manifestem fenómenos singulares na sua ocorrência, a comparação com o espectro de ruído medido no mesmo dia da semana numa ocasião distinta permite avaliar se os resultados estão afastados da realidade, e caso se estejam, descartá-los para fins de análise e de cálculo.

O quadro que se segue sobrepõe as medições efectuadas, permitindo visualizar para cada dia da semana, a quantidade de registos existente. Conclui-se por observação que existem até três medições sobrepostas, representadas pela cor mais escura. O código de cores caracteriza uma diminuição no tom paralela à diminuição do número de sobreposições (sendo que a cor mais clara representa apenas um registo de medições correspondente ao período representado).

Apenas um dia carece de sobreposição de dados, no decorrer de um reduzido espaço de tempo, no entanto os valores retirados serão considerados como representativos e fidedignos.

Quadro. 4.2 – Sobreposição das medições contínuas



Os dados retirados das medições contínuas permitem fazer duas análises: o cálculo dos indicadores de ruído preconizados na legislação, e os períodos de tempo durante o dia com o L_{eq} mais próximo do L_{eq} diário.

O cálculo dos indicadores L_{den} e L_n , por intermédio dos indicadores L_d e L_e , submete a uma organização de cada dia em termos de períodos diurno, de entardecer e noturno, tempo em minutos de registo e por fim de L_{eq} correspondente a cada um dos períodos. O quadro seguinte ilustra os factores mencionados dispostos por ordem cronológica.

O quadro 4.3 organiza os valores de L_d , L_e e L_n correspondente aos vários dias da semana.

Em anexo encontram-se organizados por gráficos os dados retirados das medições contínuas.

Quadro 4.3 – L_d , L_e e L_n correspondentes aos dias da semana

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo
L_d (dB(A))	60,3	60,5	60,4	60,6	59,4	58,2	56,4
L_e (dB(A))	58,1	57,3	58,2	58,9	57,8	57,7	56,7
L_n (dB(A))	56,1	53,7	54,8	54,3	54,4	55,1	54,6

Os valores retirados de L_d , L_e , L_n e L_{den} , considerando a contribuição dos registos de ambos os dias sábado e domingo, são respectivamente: 60,7 dBA, 59,0 dBA, 56,0 dBA e 63,6 dBA.

Não considerando a contribuição dos dias sábado e domingo (que em termos de ruído ambiente se afastam um pouco da realidade observada durante os dias úteis) os indicadores L_d , L_e , L_n e L_{den} são representados pelos seguintes valores: 61,2 dBA, 59,2 dBA, 56,2 dBA e 63,9 dBA.

Conclui-se que os dias correspondentes ao fim de semana têm um peso pouco significativo nos indicadores legais de ruído.

O quadro 4.4 relaciona os valores de L_{eq} relativos a cada dia de medição, com o tempo de duração de medição. Esta relação permite efectuar o cálculo do L_{eq} final e consequentemente dos indicadores L_{den} e L_n , uma vez que estes valores são analisados em ordem ao tempo.

Quadro 4.4 – Dados relativos a todos os dias de monitorização contínua

		Minutos	L_{eq} (dBA)
Quinta 19-03-2009	P. Diurno	245	62,9
	P. de Entardecer	180	59,9
	P. Nocturno	480	56,6
Sexta 20-03-2009	P. Diurno	573	63
	P. de Entardecer	-	-
	P. Nocturno	-	-
Terça 24-03-2009	P. Diurno	488	61,5
	P. de Entardecer	180	59
	P. Nocturno	480	54,9
Quarta 25-03-2009	P. Diurno	581	61,4
	P. de Entardecer	180	61,2
	P. Nocturno	480	55,9
Quinta 26-03-2009	P. Diurno	780	61,7
	P. de Entardecer	180	60,1
	P. Nocturno	480	55,9
Sexta 27-03-2009	P. Diurno	780	61
	P. de Entardecer	180	59
	P. Nocturno	480	54,5
Sábado 28-03-2009	P. Diurno	780	59
	P. de Entardecer	180	59,7
	P. Nocturno	480	55,2
Domingo 29-03-2009	P. Diurno	780	56,8
	P. de Entardecer	180	57,9
	P. Nocturno	480	55,1

Segunda 30-03-2009	P. Diurno	156	62,4
	P. de Entardecer	-	-
	P. Nocturno	-	-
Segunda 27-04-2009	P. Diurno	211	60,3
	P. de Entardecer	180	59,9
	P. Nocturno	480	56,3
Terça 28-04-2009	P. Diurno	780	61,5
	P. de Entardecer	180	56,9
	P. Nocturno	480	54,8
Quarta 29-04-2009	P. Diurno	780	61,7
	P. de Entardecer	180	59,6
	P. Nocturno	480	54,3
Quinta 30-04-2009	P. Diurno	780	61,4
	P. de Entardecer	180	59,6
	P. Nocturno	480	54,3
Sexta 01-05-2009	P. Diurno	780	57,7
	P. de Entardecer	180	56,9
	P. Nocturno	480	54,6
Sábado 02-05-2009	P. Diurno	780	59,3
	P. de Entardecer	180	57,5
	P. Nocturno	480	56,6
Domingo 03-05-2009	P. Diurno	780	57,1
	P. de Entardecer	180	56,7
	P. Nocturno	480	55,4
Segunda 04-05-2009	P. Diurno	780	60,5
	P. de Entardecer	180	59,1
	P. Nocturno	480	58,2
Terça 05-05-2009	P. Diurno	780	60,9
	P. de Entardecer	180	60,1
	P. Nocturno	480	58,2
Quarta 06-05-2009	P. Diurno	780	61
	P. de Entardecer	180	57,2
	P. Nocturno	480	56,7
Quinta 07-05-2009	P. Diurno	780	61,1
	P. de Entardecer	-	-
	P. Nocturno	-	-

4.2. MEDIÇÕES PONTUAIS

Como já referido a monitorização contínua permite obter os intervalos temporais diários que melhor caracterizam acusticamente a área em estudo. Com o objectivo de melhor compreender a situação acústica da zona de medições, foram elaborados dois tipos de gráficos, o primeiro apresenta todos os registos de medições efectuados por dia e período, o segundo tipo de gráfico apresenta a média dos registos, também estes, por dia e período.

Todos os gráficos estão expostos em anexo, porém, para efeito de demonstração serão seguidamente apresentados os que contêm resultados referentes ao dia da semana mais representativo em termos de número de registos obtidos, quinta-feira.

As legendas do gráfico ilustrado na figura 4.2 traduzem os dias correspondentes aos registos expostos. Na figura 4.3 observam-se os valores calculados por intermédio da média aritmética dos vários valores registados.

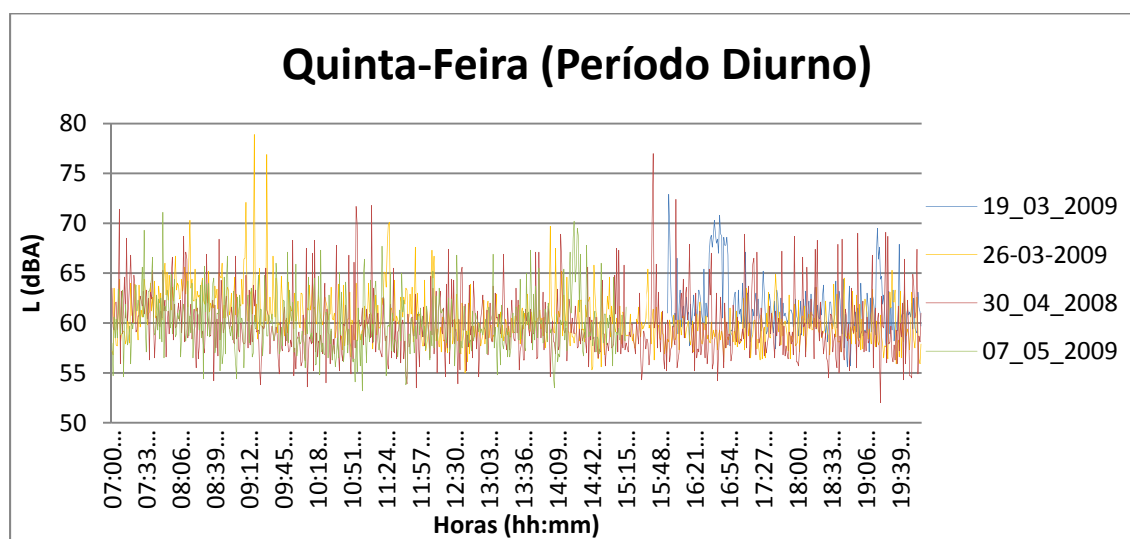


Fig.4.2 – Gráfico dos valores retirados em Período Diurno correspondentes ao dia da semana Quinta

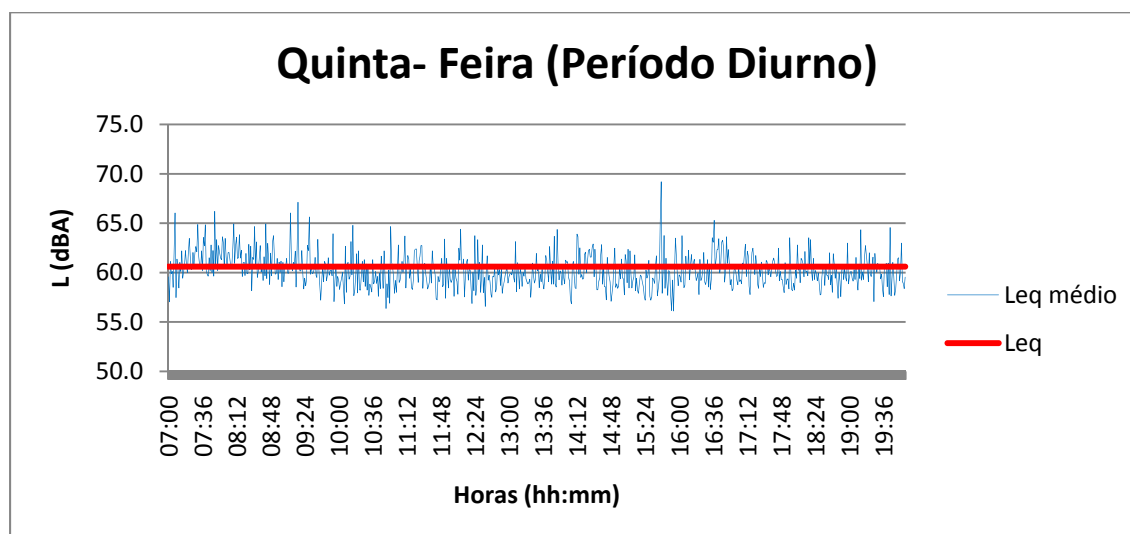


Fig.4.3 – Gráfico da média dos valores retirados em Período Diurno correspondentes ao dia da semana Quinta

O processo de cálculo dos intervalos de tempo úteis para a realização das medições pontuais seguiu os seguintes passos:

1. Cálculo o L_{eq} dos valores médios de todos os dias por período (diurno, entardecer e noturno)
2. Pela observação dos gráficos escolha dos intervalos de tempo cujo L_{eq} mais se aproxima do L_{eq} total.
3. Cálculo do L_{eq} relativo ao intervalo de tempo considerado e respectiva comparação com o L_{eq} total
4. Repetição do processo caso as diferenças entre o L_{eq} do intervalo de tempo considerado se verificasse muito afastado do L_{eq} total

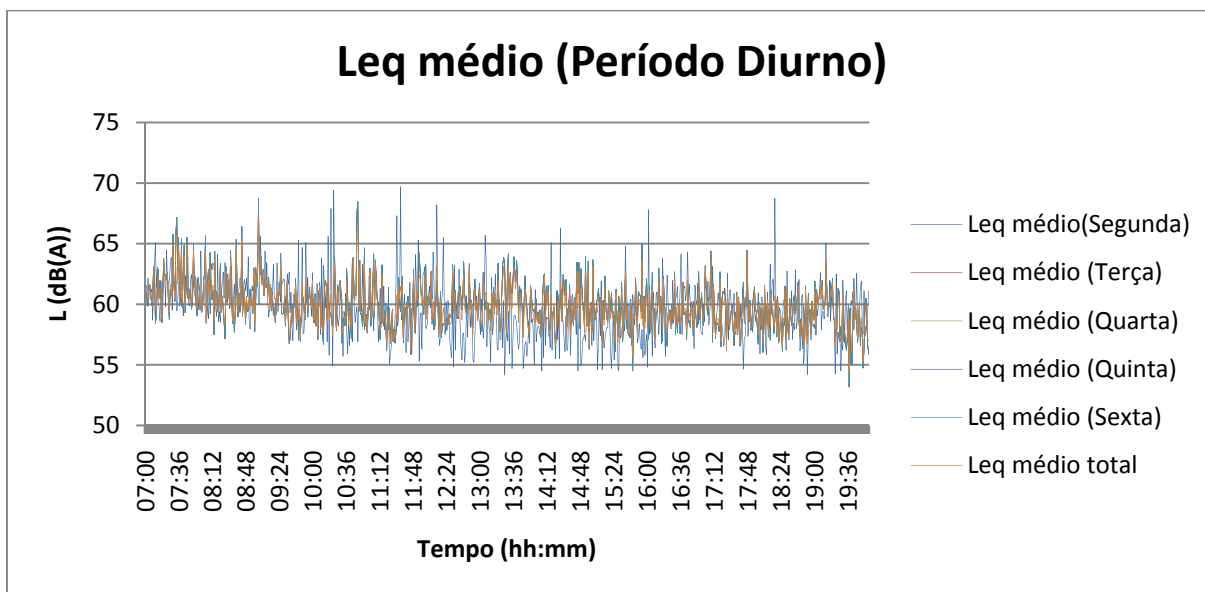


Fig.4.4 – Gráfico da média dos valores retirados em Período Diurno

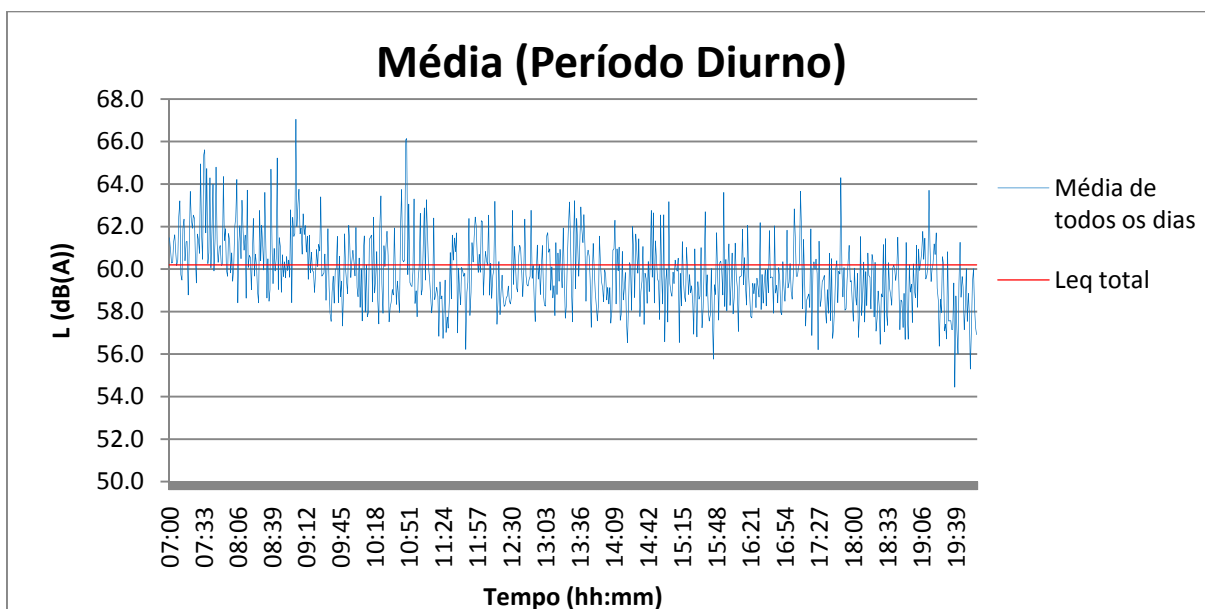


Fig.4.5 – Gráfico da soma energética dos valores retirados em Período Diurno

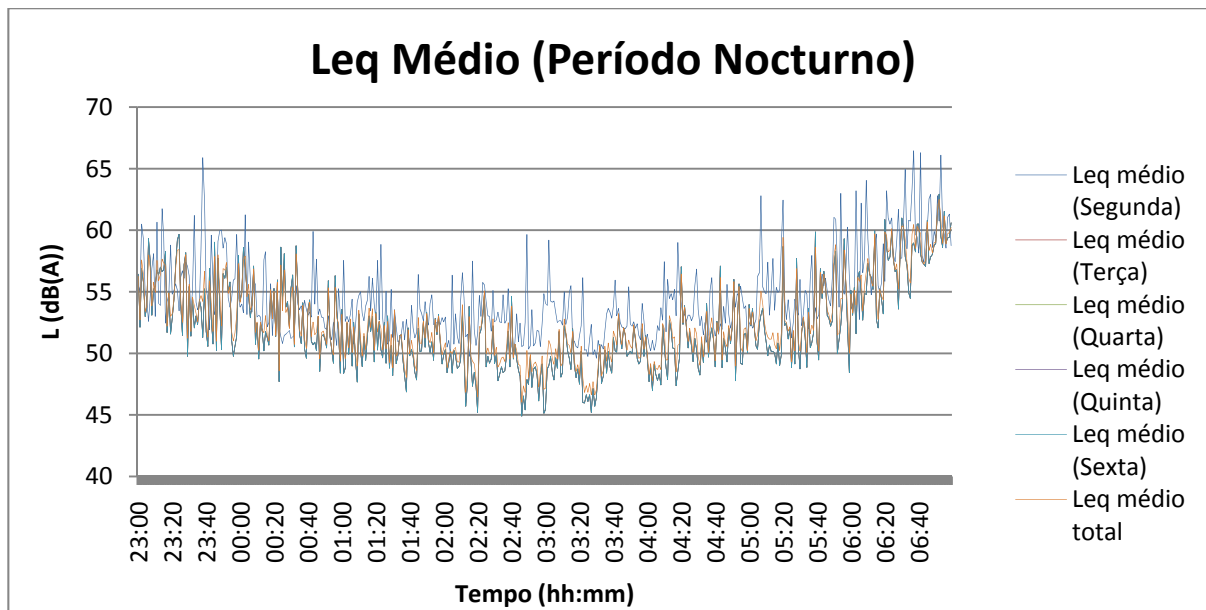


Fig.4.6 – Gráfico da média dos valores retirados em Período Nocturno

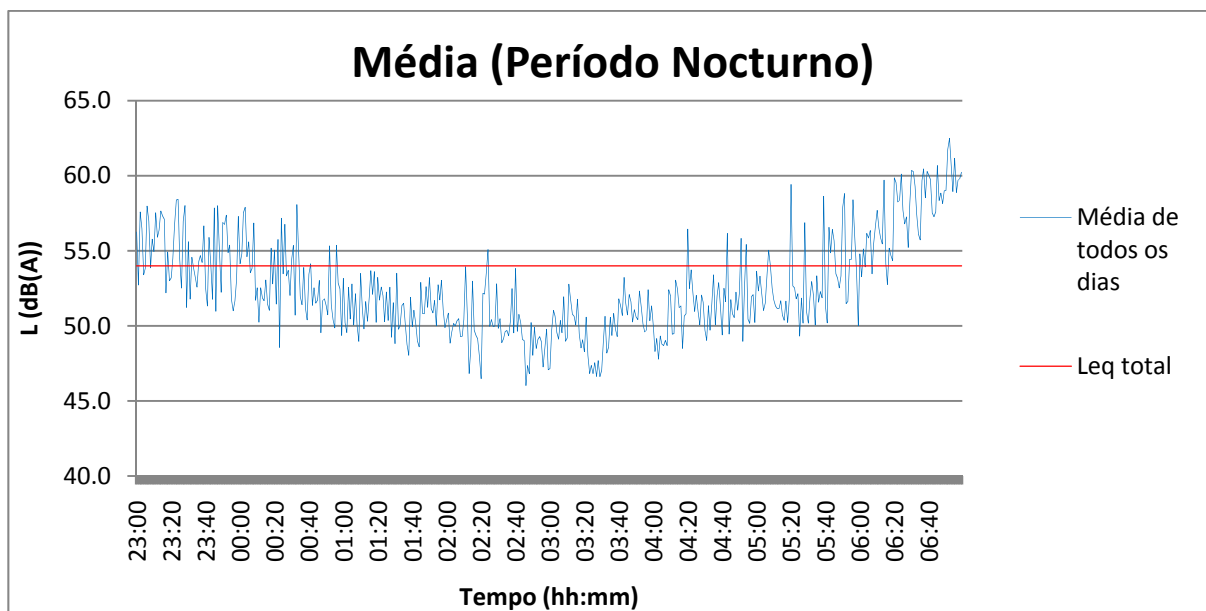


Fig.4.7 – Gráfico da soma energética dos valores retirados em Período Nocturno

No quadro 4.5 encontram-se os intervalos de tempo aptos para a realização de medições pontuais, em paralelo com a contagem de tráfego, cujos dados se encontram em anexo, bem como a respectiva diferença entre a média do período considerado e a média do período total.

Quadro 4.5 – comparação dos L_{eq} retirados nos períodos de referência com o L_{eq} real

	Segunda		Terça		Quarta		Quinta		Sexta		Média	
	P. D.	P. N	P. D.	P. N	P. D.	P. N	P. D.	P. N	P. D.	P. N	P. D.	P. N
Leq Real	60,3	56,1	60,5	53,7	60,4	54,8	60,6	54,3	59,4	54,4	60,2	54
14:00-15:00	59		60,3		59,4		60,5		59,5		59,9	
ΔL	1,3		0,2		1		0,1		0,1		0,3	
17:30-18:30	59,5		59,4		60,6		60,3		58		59,3	
ΔL	0,8		0,9		0,2		0,3		1,4		0,9	
00:00-01:00		54,3		53,8		55,4		56,3		56,9		53,6
ΔL		1,8		0,1		0,6		2		2,5		0,4
00:30-01:30		54,1		52,2		54,7		55,6		55,5		52,4
ΔL		2		1,5		0,1		0,7		0,9		1,6

Como se pode concluir pela análise do quadro, os períodos de referência nem sempre são os mais adequados para todos os dias da semana, no entanto, é impossível encontrar um período de tempo que se aproxime do L_{eq} para todos os dias, tomando como exemplo terça-feira das 00:30 às 01:30, cujo desvio são 1,5 dB(A), o horário mais favorável para realizar medições deveria ser entre as 00:00 e as 01:00, no entanto este mesmo horário não se aplica à maioria dos restantes dias da semana. Conclui-se ainda que o intervalo de tempo de todas as medições é 60 minutos.

No que diz respeito aos intervalos de tempo 00:00/01:00 e 00:30/01:30, foi seleccionado o segundo, apesar de obter um ΔL superior quando analisado na média da semana, obtém melhores resultados quando comparados individualmente por dia.

Com base no estudo anterior realizaram-se na rua Dr. Roberto Frias medições pontuais no decorrer de uma semana, apenas nos seus dias úteis. Este ponto de medição foi considerado, pois é favorável obter dados acústicos de mais um ponto, adicionalmente ao escolhido para a realização da monitorização contínua, para posteriormente aferir o mapa de ruídos no software de cálculo. Foram também realizadas medições, embora em menor número, na Rua António Bernardino Almeida, com o objectivo de comparar às medições efectuadas no decorrer da monitorização contínua, as mesmas permitiram ainda fazer um levantamento do volume de circulação de veículos.



Fig.4.8 – Mapa do Pólo da Asprela com os locais de medições pontuais [25]

Em anexo encontram-se todos os dados retirados das medições efectuadas, bem como as fichas de contagem de tráfego realizadas para cada uma das medições.

Quadro 4.6 – Organização dos valores retirados das medições pontuais

		00:00	14:00	17:30
18-Maio	Leq (dB(A))	65,7	68,1	72,4
	nº veículos ligeiros	285	1567	1548
	nº veículos pesados	7	53	67
19-Maio	Leq (dB(A))	64,2	68,2	72,9
	nº veículos ligeiros	299	1495	1503
	nº veículos pesados	7	51	69
20-Maio	Leq (dB(A))	63,5	70,9	72,5
	nº veículos ligeiros	311	1376	1387
	nº veículos pesados	8	49	66
21-Maio	Leq (dB(A))	64,3	70,1	72,1
	nº veículos ligeiros	281	1505	1395
	nº veículos pesados	5	53	64
22-Maio	Leq (dB(A))	63,1	68,2	73,6
	nº veículos ligeiros	380	1523	1375
	nº veículos pesados	8	52	65

Os valores retirados de L_n e L_{den} , considerando a contribuição dos registos retirados das medições efectuadas na rua Dr. Roberto Frias, são respectivamente: 64,4 dB(A) e 73,7 dB(A). Estes valores foram calculados de acordo com um L_e considerado constante e com valor 68,4 dB(A), obtido por intermédio de uma medição efectuada em das 19:30 às 20:30. A análise dos resultados obtidos nas medições contínuas permitiu concluir que o ruído produzido no período de entardecer é constante. Como tal, com o propósito de caracterizar o referido período de tempo, foi realizada apenas uma medição.

4.3. MEDIÇÕES INDIVIDUAIS

Na sequência das medições contínuas e pontuais foram realizadas medições dos dois meios de transporte mais proeminentes na zona de estudo: veículos ligeiros e veículos pesados. Esta simplificação justifica-se não só pelo tempo limitado de execução do projecto em causa, como também pelo âmbito no qual o mesmo se insere. A figura 4.9 exemplifica a classificação de veículos realizada no âmbito deste estudo.

As medições foram realizadas num horário compreendido entre as 04:30 e 06:00 da manhã, pois foi o período que se revelou mais favorável à obtenção de valores de ruído de veículos a passar individualmente, sem o contributo de outras fontes. Todos os registos dizem respeito a medições efectuadas no mesmo local, a cerca de 10 metros do eixo da via (a via é revestida a asfalto betuminoso).

Os veículos pesados, por simplificação, serão todos caracterizados pelo espectro de ruído de um autocarro de passageiros da STCP (este método justifica-se pelo prazo limitado para a realização de medições individuais, e também pela dificuldade de isolar outro qualquer tipo de veículo pesado, uma vez que não passam a horas de reduzido trânsito, como é o caso dos transportes colectivos do Porto).



Fig.4.9 – Classificação de veículos

Para o cálculo do tempo de emergência de cada um dos veículos e dos níveis de pressão sonora em dB(A), realizaram-se várias medições, mas apenas aproveitadas três de cada tipo de veículo. As várias contribuições foram somadas tendo em conta o valor de pico de cada uma, ou seja, como o tempo de emergência não é coincidente em todas as medições, a comparação dos valores de nível de pressão sonora relativos a cada segundo foi efectuada a partir do valor mais elevado. O Quadro 4.7 demonstra o modo como foram agrupados os vários valores medidos. É de notar que o tempo de registo dos veículos pesados é consideravelmente mais reduzido do que o tempo de registo dos veículos ligeiros. No sentido de melhor compreender este fenómeno era necessário realizar um maior número de medições num local mais adequado isento de ruídos residuais e intrusivos.

No sentido de determinar qual o ruído ambiente foram efectuadas duas medições (a primeira as 5:50h e a segunda as 5:56h), a primeira durante 25 segundos e com um L_{eq} de 48,6 dB(A) e a segunda durante 17 segundos com um L_{eq} de 49 dB(A). O ruído ambiente, entre as 5:50h e as 5:56h, assume em média o valor 48,4 dB(A).

Quadro 4.7 – Organização dos valores retirados das medições individuais

Tempo (s)	Veículos ligeiros				Veículos pesados			
	Medição 1	Medição 2	Medição3	Média	Medição 1	Medição 2	Medição3	Média
	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1		48,8		48,8	49,8			49,8
2		49		49,0	51,0			51,0
3	49,1	49,1		49,1	51,7	49,9	49,2	50,8
4	49,4	48,8		49,1	52,1	51,7	49,6	51,1
5	50	49		49,5	53,7	53,9	49,8	52,5
6	51,3	50,3		50,8	53,7	54,7	50,1	52,8
7	48,7	49,4		49,1	53,5	55,7	50,9	53,4
8	48,3	48,4	48,9	48,4	53,7	55,5	52,3	53,8
9	48,8	48,7	49,1	48,8	56,9	56,7	54,5	56,0
10	48,5	48,9	49,4	48,9	58,4	57,1	56,7	57,4
11	49	48,9	50,1	49,3	59,7	59,1	58,6	59,1
12	49,8	48,9	50,8	49,8	63,1	59,3	60,1	60,8
13	49	48,6	51,7	49,8	66,5	63,4	62,7	64,2
14	50,4	48,6	53,3	50,8	74,1	67,2	69,3	70,2
15	50,5	49,5	53,8	51,3	75,5	76,2	76,3	76,0
16	52,6	50,6	54,1	52,4	73,5	75,2	74,1	74,3
17	54,5	50,5	54,7	53,2	67,4	72,9	62,3	67,5
18	56,9	51,3	55,1	54,4	64,1	68,1	58,6	63,6
19	60,3	54,3	57,5	57,4	61,9	65,4	57,2	61,5
20	64,3	59,1	61	61,5	59,6	63,6	55,7	59,6
21	71,6	65	67	67,9	56,3	59,9	53,8	56,7
22	76	66,9	72,5	71,8	54,1	58,7	51,5	54,8
23	68,7	64,5	71	68,1	52,4	56,6	50,1	53,0
24	63,5	61,1	64,7	63,1	53,1	54,3	49,8	52,4
25	62	57,5	60,2	59,9	52,4	51,2		51,8
26	61,9	56,1	58,2	58,7	53			53,0
27	62,1	55,1	56,8	58,0	50,8			50,8
28	61,5	54,3	55,9	57,2				
29	60,2	54,7	55,2	56,7				
30	59,3	54,5	53,2	55,7				
31	58,2	52,9	52,3	54,5				
32	57,2	52,2	51,7	53,7				
33	56,5	51,7	50,4	52,9				
34	54,7	51,1	49,8	51,9				
35	53,4	49,5	49,2	50,7				
36	51,2	49		50,1				
37	49,3			49,3				

Os gráficos 4.10 e 4.11 contêm as três medições consideradas, para os dois tipos de veículos, assim como a respectiva média.

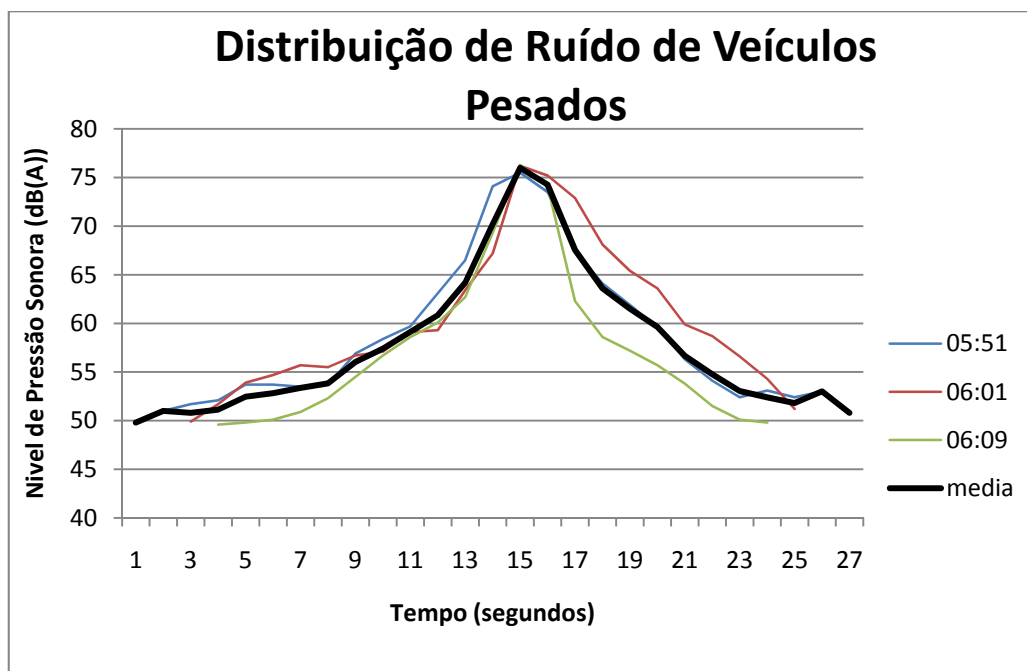


Fig.4.10 – Distribuição de ruído de veículos pesados

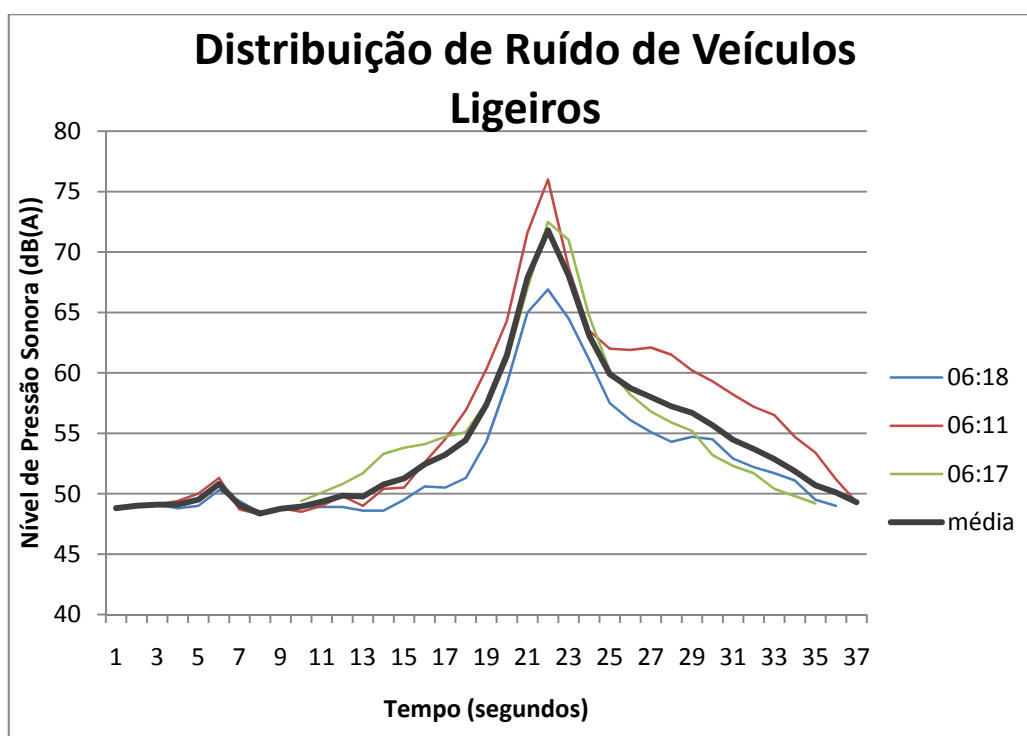


Fig.4.11 – Distribuição de ruído de veículos ligeiros

A legenda presente nos gráficos traduz as horas de medição de cada um dos registos, e a “média” (representada a preto) os valores calculados através da média aritmética dos três registos efectuados para cada um dos veículos.

O ruído equivalente calculado para cada tipo de veículo é 60,2 dB(A) para os veículos ligeiros e 65,5 dB(A) para os veículos pesados

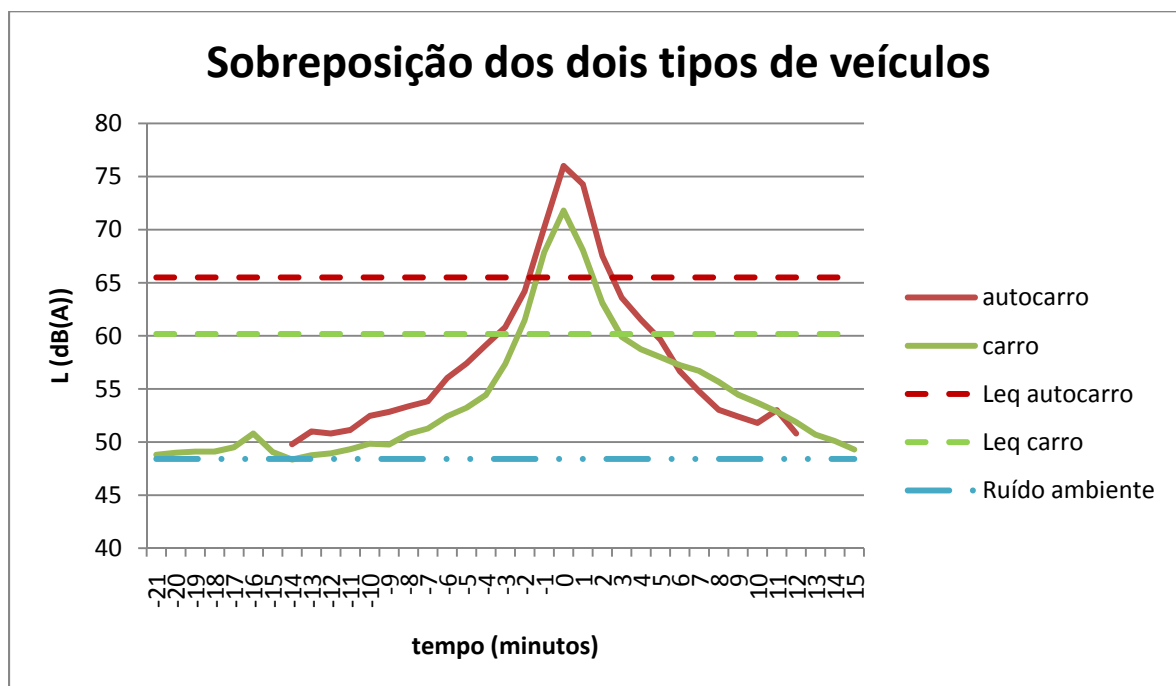


Fig.4.12 – Distribuição sobreposta de ruído dos dois tipos de veículos

Com o objectivo de melhor comparar as duas contribuições, a figura 4.12 traduz num só gráfico ambas as distribuições. Desta forma se observa que são as duas bastante similares na sua distribuição, diferentes nos valores de pico (maior no caso dos veículos pesados).

No que diz respeito aos tempos de emergência, é através da figura anterior que se depara que os valores de nível de pressão sonora destacam-se do ruído ambiente praticamente na mesma escala temporal. Pode-se dizer então que o tempo de emergência entre os dois veículos é semelhante, e adquire o valor aproximado de 30 segundos.

5

CASO DE ESTUDO

Neste capítulo pretende-se avaliar, por meio de dois métodos, os dados obtidos na zona de estudo. O primeiro método trata-se uma comparação entre o L_{Aeq} retirado das várias medições pontuais, e os níveis de pressão sonora equivalentes dos dois meios de transportes analisados: veículos ligeiros e pesados. Este método, experimental e de carácter académico, pretende tentar fazer reflectir o contributo individual dos diferentes componentes de tráfego no cálculo de ruído de uma fonte sonora de uma forma simples, ao qual foi atribuída a denominação de Método das Contribuições Individuais.

O segundo método emprega o software de cálculo CadnaA, e como tal, as normas anteriormente mencionadas. Este método não só proporciona o mapa de ruídos da área estudada, como também permite, com alguma facilidade, a modelação de tráfego com as consequentes modificações acústicas em toda a área em questão.

5.1. MÉTODO DAS CONTRIBUIÇÕES INDIVIDUAIS

Na tentativa de simplificar o cálculo do L_{Aeq} de uma determinada via de comunicação, foi estudado e elaborado um método que aglomera as contribuições individuais de várias fontes sonoras. No presente caso, as fontes sonoras foram limitadas a veículos ligeiros e pesados.

Este método quando elaborado, diz respeito unicamente a uma via específica, pois depende do ruído ambiente, da percentagem de tempo no qual o trânsito se encontra congestionado, do número de faixas da via (deste factor resulta a quantidade de veículos que passam em simultâneo). Deste modo, as considerações e os cálculos seguidamente apresentados dizem respeito exclusivamente à Rua Dr. Roberto Frias, e foram realizados para dois períodos distintos: Período Diurno e Período Noturno.

5.1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O nível de pressão sonora equivalente de um determinado número de fontes sonoras, num determinado número de tempo, é igual se as mesmas passarem em sequência, ou espaçadas aleatoriamente no mesmo intervalo de tempo.

Tome-se como exemplo duas fontes sonoras distintas, produzindo cada uma produzindo 70 e 60 dB(A) com tempos de emergência de 1 minuto cada, inseridas num ambiente com um ruído de fundo de 55 dB(A).

No primeiro caso, as fontes produzem ruído de uma forma aleatória no tempo, como exemplifica o gráfico 5.1. O nível de pressão sonora contínuo equivalente, L_{eq} , assume o valor de 63,5 dB(A), calculado com recurso à equação 2.4.

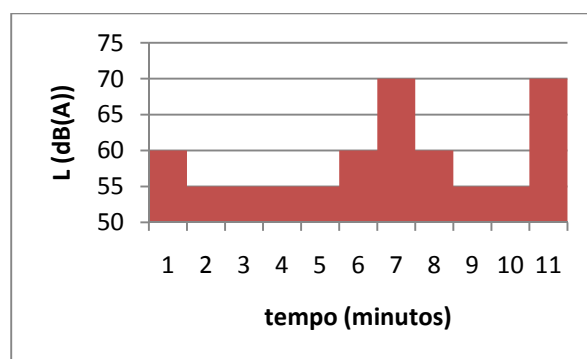


Fig.5.1 – Produção de ruído aleatória

$$L_{eq} = 10 * \log \left(10^{60/10} + 4 * 10^{55/10} + 10^{60/10} + 10^{70/10} + 10^{60/10} + 2 * 10^{55/10} + 10^{70/10} \right)$$

No segundo caso, considerando os ruídos agrupados, o L_{eq} assume precisamente um valor igual ao anteriormente calculado, 63,5 dB(A), como seria de prever.

$$L_{eq} = 10 * \log \left(2 * 10^{70/10} + 3 * 10^{60/10} + 6 * 10^{60/10} \right)$$

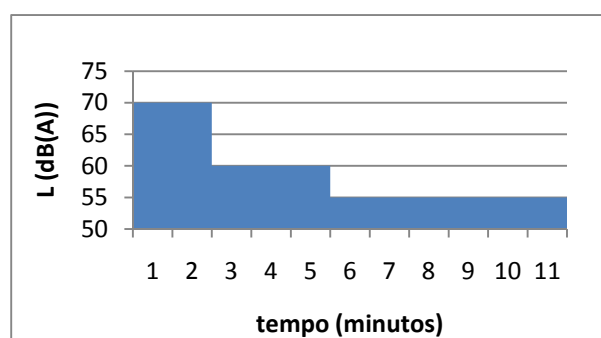


Fig.5.2 – Acumulação das fontes de ruído

Com base nestes princípios, o cálculo do ruído urbano deve ser possível de calcular, conhecendo o ruído provocado pelas suas fontes sonoras e sabendo que o mesmo se sobrepõe a ruídos menos energéticos, e como tal, menos contributivos (como é o caso do ruído ambiente noturno e diurno).

5.1.2. APLICAÇÃO PRÁTICA

Tomando como exemplo um caso real, com valores retirados durante uma das medições realizadas no dia 22 de Maio, em Período Noturno, o L_{eq} de referência é 63,1dB.

Neste período de tempo circularam 380 veículos ligeiros e 8 veículos pesados, produzindo respectivamente e individualmente um L_{eq} de 60,2 dB(A) e 65,5 dB(A), conforme o calculado anteriormente.

De acordo com o método exposto, o L_{eq} deverá então ser equivalente à soma energética de 380 veículos ligeiros e 8 veículos pesados, considerando o tempo de emergência de cada um (30 segundos em ambos os casos).

Foram então consideradas as seguintes condições: durante o período noturno: os veículos pesados não passam em simultâneo, mas sim consecutivamente, e os veículos ligeiros passam um simultâneo,

mas nunca coincidentes com veículos pesados, o ruído ambiente é considerado exíguo quando comparado com as contribuições dos veículos, pelo que a sua consideração se torna dispensável (esta situação só seria inversa, caso o tempo de passagem total dos veículos fosse inferior ao tempo da medição utilizada como referência).

Deste modo o tempo de passagem dos veículos pesados é 240 segundos (8 veículos pesados multiplicados por 30 segundos de tempo de emergência), e o tempo de passagem dos veículos ligeiros é 11400 segundos, considerando que passam consecutivamente e não em simultâneo, 5700 segundos, considerando que passam dois veículos ligeiros em simultâneo e 2850 segundos, considerando que circulam em simultâneo três veículos ligeiros. O quadro 5.1 apresenta os respectivos valores de L_{eq} para cada uma das situações referidas. O L_{eq} referente à contribuição de cada veículo ligeiro é a soma energética da quantidade de veículos que passam em simultâneo.

Quadro 5.1 – Valores retirados do método das contribuições individuais em período nocturno

Tipo de Veículo	Nº de Ligeiros a passar em simultâneo	L_{eq} (por veículo) (dB(A))	Nº de veículos equivalente	Tempo de passagem (Segundos)	L_{eq} (dB(A))
Pesados		65,5	8	240	60,4
Ligeiros	0	60,2	380	11400	
Pesados		65,5	8	240	63,3
Ligeiros	2	63,2	190	5700	
Pesados		65,5	8	1404	66,1
Ligeiros	4	68,0	95	2850	

Como se pode concluir, durante o período nocturno, deverão ser percebidos acusticamente cerca de dois carros em simultâneo. Neste período, as condições não estarão muito afastadas da realidade, pois o número de pesados é reduzido, e como tal, a possibilidade de circularem individualmente é de facto bastante viável.

O mesmo raciocínio se aplica para o período de tempo diurno, mais uma vez tomando como exemplo, valores retirados de uma das medições pontuais efectuadas no mesmo dia, 22 de Abril, desta vez com um L_{eq} de 68,2 dB(A), num intervalo de tempo de 3600 segundos, nos quais circularam 1523 veículos ligeiros e 52 veículos pesados.

Para esta situação serão consideradas as seguintes situações: inicialmente será considerado que os veículos pesados passam consecutivamente na ausência de passagens de veículos ligeiros, e estes últimos passam em simultâneo, será depois considerado que os veículos pesados passam consecutivamente, mas em simultâneo com veículos ligeiros. Ambas as situações estão traduzidas no quadro 5.2.

Na primeira situação, circulação de veículos pesados ausente de veículos ligeiros, conclui-se que passam ao mesmo tempo cerca de vinte veículos ligeiros. Esta situação é, porém, pouco verosímil, tendo em conta que ocorre em período diurno, como tal a segunda consideração, na qual a circulação de veículos pesados é acompanhada pela circulação de veículos ligeiros, é notoriamente mais viável, e com resultados mais satisfatórios.

Como mencionado anteriormente, este método apenas caracteriza uma via de comunicação, sobre a qual é necessário obter informações de tráfego, e possuir algum conhecimento empírico sobre a situação real.

Estas comparações entre medições pontuais e passagens de veículos só foram possíveis porque tanto as medições pontuais como as medições das contribuições individuais foram efectuadas à mesma distância do eixo da via.

Quadro 5.2 – Valores retirados do método das contribuições individuais em período diurno

	Tipo de Veículo	Nº de Ligeiros a passar em simultâneo	Leq (por veículo) (dB(A))	Nº de veículos equivalente	Tempo de passagem (Segundos)	Leq (dB(A))
Circulação de pesados ausente de ligeiros	Pesados		65,5	52	1560	60,4
	Ligeiros	0	60,2	1523	45690	
	Pesados		65,5	52	1560	66,1
	Ligeiros	4	66,2	381	11423	
	Pesados		65,5	52	1560	67,6
	Ligeiros	6	68,0	254	7615	
	Pesados		65,5	52	1560	68,6
	Ligeiros	8	69,2	190	5711	
	Pesados		65,5	52	1560	69,4
	Ligeiros	10	70,2	152	4569	
Circulação de pesados em simultâneo com ligeiros	Pesados e ligeiros		66,6	52	1560	60,7
	Ligeiros	0	60,2	1523	45690	
	Pesados e ligeiros		68,9	56	1560	66,6
	Ligeiros	4	66,2	380	11393	
	Pesados e ligeiros		69,9	58	1560	68,4
	Ligeiros	6	68,0	253	7585	
	Pesados e ligeiros		70,8	60	1560	69,6
	Ligeiros	8	69,2	189	5681	

Do quadro acima representado conclui-se que o coeficiente simultaneidade é de 8 veículos ligeiros no caso dos veículos pesados circularem individualmente, e 6 veículos ligeiros no caso de passarem a par com veículos pesados. A segunda situação é a mais congruente com a realidade, de facto, é mais provável a passagem de veículos pesados em simultâneo com veículos ligeiros.

Daqui se retira que num espaço de 30 segundos se obtém, em termos de energia, o equivalente à passagem de 6 carros.

5.2. MAPA DE RUÍDO

A elaboração de um mapa de ruído, é um projecto de grande escala, tanto a nível temporal, como a nível de aquisição de informação.

Deste modo o do mapa de ruído característico da zona estudada, é uma sequência do mapa de ruído do Porto pré-existente, alterado e calibrado tendo em conta os valores medidos no decorrer deste projecto.

Foram também feitas algumas modificações topográficas, com a consideração de novas ruas, que ainda não haviam sido caracterizadas, bem como de novos edifícios.

5.2.2. MAPA DE RUÍDO DE BASE

Para melhor comparar os valores no mapa de ruído já existente, e os valores de referência obtidos no decorrer do estudo prático elaborado, os valores de L_{den} e L_n serão sempre estudados nos três pontos onde se elaboraram as medições (contínuas e pontuais).

Assim sendo, os pontos de referência são:

- 1- Ponto situado no pátio do ISEP
- 2- Ponto localizado na Rua António Bernardino Almeida
- 3- Ponto localizado na Rua Dr. Roberto Frias

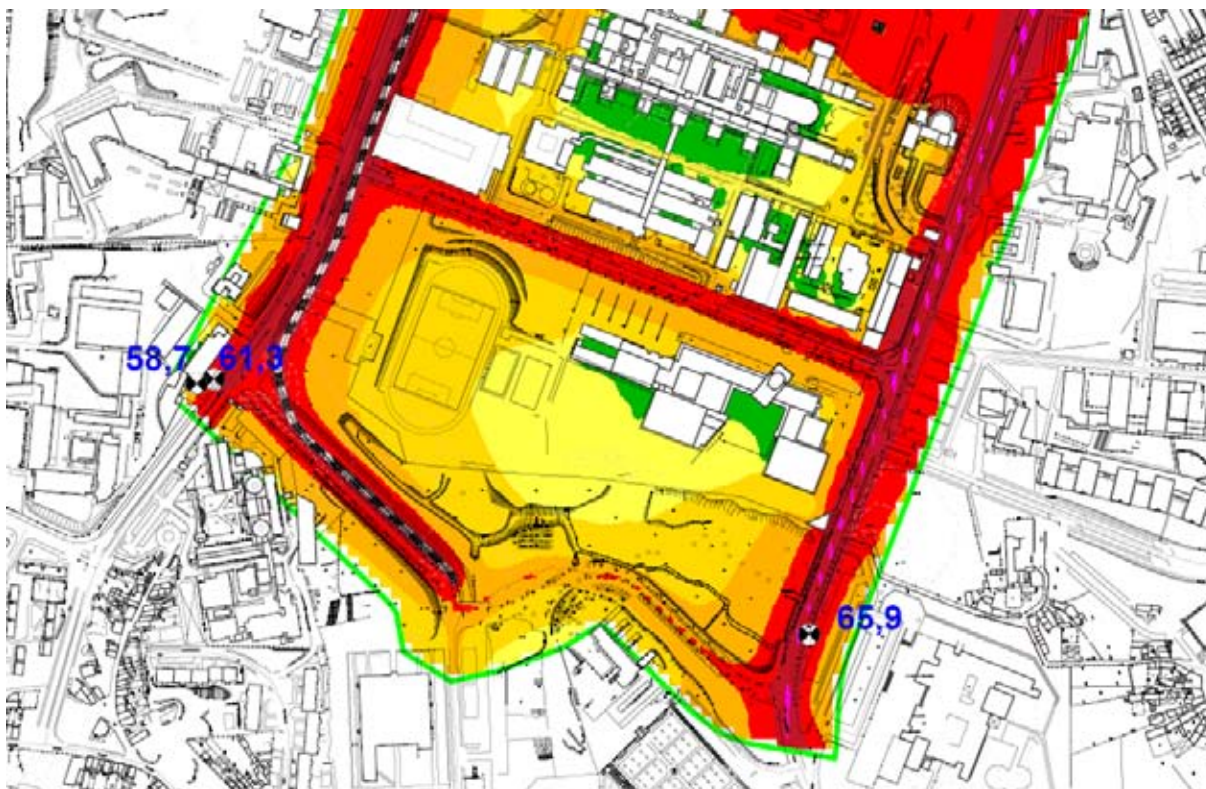


Fig.5.3 – Mapa de ruídos de base em período diurno (L_{den})

Fig 5.4 – Mapa de ruídos de base em período noturno (L_n)

As figuras 5.3 e 5.4 traduzem o mapa de ruído da zona em estudo em período diurno e noturno, realizado pelo Laboratório de Acústica da FEUP em colaboração com o Núcleo de Investigação & Desenvolvimento em Engenharia Acústica (NI&DEA).

O ponto 1 carece de algumas considerações iniciais, pois situa-se num local onde ocorrem reflexões por parte das estruturas circundantes do local, bem como do pequeno muro que separa o chão do local de medição, do exterior do edifício. Os dados seguidamente apresentados são em parte consequentes destas particularidades.

Quadro 5.3 – Valores de Referência do Mapa de Base

Indicadores de referência	Pontos de referência		
	1	2	3
L_{den} (dB(A))	58,7	61,3	65,9
L_n (dB(A))	48,8	52,1	56,3

O L_{den} calculado através dos valores obtidos nas medições pontuais é, nos pontos 1,2 3 respectivamente, 63,6 dB(A), 66,9 dB(A) e 73,7 dB(A). O indicador de ruído noturno L_n assume para os pontos 1,2 e 3 os respectivos valores de 56,0 dB(A), 58,6 dB(A) e 64,4 dB(A).

Quadro 5.4 – Valores de Referência Retirados das Medições Pontuais

Indicadores de referência	Pontos de referência		
	1	2	3
L_{den} (dB(A))	63,6	66,3	73,7
L_n (dB(A))	56,0	58,2	64,4

Estes últimos valores servirão como termo de comparação com os resultados obtidos no CadnaA com base no número de veículos por hora.

5.2.2. AFERIÇÃO DO MAPA DE RUÍDO

Como já referido, as fontes lineares podem ser caracterizadas pela atribuição do nível de potência sonora associado, ou pela caracterização de determinados parâmetros relacionados com velocidade circulação de tráfego, tipo de pavimento, número de veículos e percentagem de pesados. A aferição do mapa de ruídos foi realizada por intermédio dos valores obtidos nas medições contínuas e pontuais e pela consideração do tráfego médio diário.

A aferição do mapa de ruídos foi então efectuada através do segundo método mencionado, considerando os seguintes parâmetros como constantes:

- O limite de velocidade para veículos ligeiros e pesados é 50 Km/h;
- O fluxo de passagem de tráfego é contínuo.

Os materiais escolhidos para caracterizar as ruas foram asfalto betuminoso para a rua António Bernardino Almeida, e asfalto estriado para a rua Dr. Roberto Frias.

O número de veículos médio característico do período de entardecer é calculado pelo software de cálculo de ruídos urbanos CadnaA, de acordo com a seguinte relação:

$$TMH_{(7-20h)} = TMH_{(7-22h)} \quad (5.1)$$

$$TMH_{(23-7h)} = TMH_{(22-7h)} \quad (5.2)$$

$$TMH_{(20-23h)} = \left(\frac{2 * TMH_{(7-22h)} + 1 * TMH_{(22-7h)}}{3} \right) \quad (5.3)$$

Onde:

TMH – Tráfego Médio Horário

5.2.2.1. Caracterização da Rua António Bernardino Almeida

A Rua António Bernardino Almeida é caracterizada por intermédio dos dois valores de L_{den} e L_n retirados inicialmente através da medição contínua, e das medições pontuais efectuadas a cerca de 10 metros do eixo da via. No sentido de aferir o modelo de cálculo, é também inserido o volume de tráfego observado, de modo a compatibilizar os valores de níveis de potência sonora equivalentes com o que de facto se passa na realidade.

A figura 5.5 representa com círculos os locais de medição, e com setas o sentido de circulação das vias.

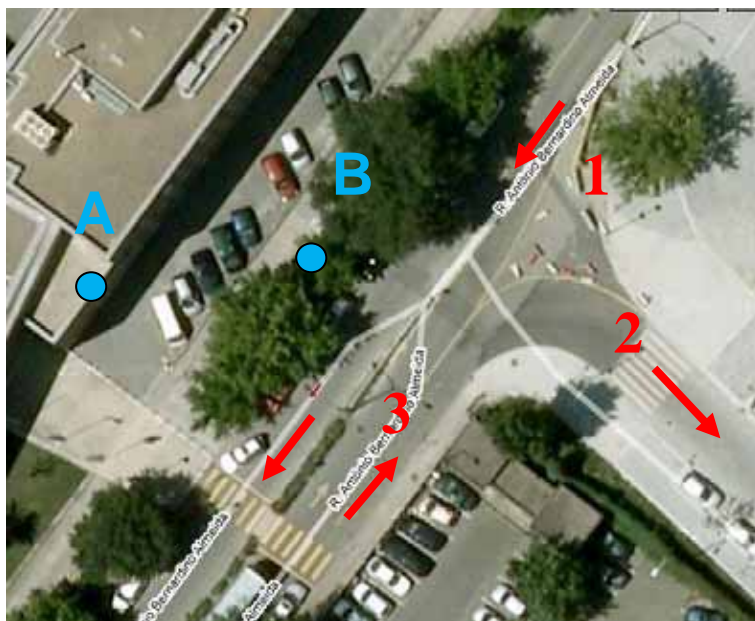


Fig 5.5 – Esquema da rua Antônio Bernardino Almeida [25]

Com a ajuda das contagens de tráfego, retirou-se a seguinte proporção em relação às três vias que confluem no nó existente perto do local de medições: cerca de 56% dos veículos advém da via 1, dos quais 34% seguem pela via 2, a via 3 representa 10% dos veículos que dela provém, mais os restantes veículos que passam da via 1 para a via 3. A percentagem de pesados é baixa, cerca de 1%.

A via 3, apesar de ter duas vias distintas, será tratada, a nível de passagem de veículos, como se de uma via com sentido único se tratasse.

As figuras seguintes, retiradas do programa de cálculo CadnaA, exemplificam o modo como o volume de passagens de veículos foi quantificado, por via. O mesmo algoritmo foi utilizado, no período nocturno.

Carretera (NMPB)

Nome:

☒ ID: Límite Velocidad. (km/h)

STE/Dist. (m): Ligeros: ☐ Pesado:

Emisión: Lm,E dB(A)

☐ Aforo, IMD: Superficie Carretera:

Tipo Carretera:

☒ Datos Horarios de Aforo:

Número de Vehiculos/Hora Q

D: E: N:

Porcentaje de Vehiculos Pesados p [%]:

D: E: N:

☐ Emisión: Law'dB(A)

D: E: N:

Día Tarde Noche

Flujo de:

Pendiente Carretera:

Fig 5.6 – Colocação de dados no CadnaA na rua 1

Carretera (NMPB)

Nombre:

☒ ID: Límite Velocidad. (km/h)

STE/Dist. (m): Ligeros: ☐ Pesado:

Emisión: Lm,E dB(A)

☐ Aforo, IMD: Superficie Carretera:

Tipo Carretera: Flujo de:

☒ Datos Horarios de Aforo: Pendiente Carretera:

Número de Vehículos/Hora Q

D: E: N:

Porcentaje de Vehículos Pesados p (%):

D: E: N:

☐ Emisión: Law'dB(A)

D: E: N:

Día Tarde Noche

Fig.5.7 – Colocação de dados no CadnaA na rua 2

Carretera (NMPB)

Nombre:

☒ ID: Límite Velocidad. (km/h)

STE/Dist. (m): Ligeros: ☐ Pesado:

Emisión: Lm,E dB(A)

☐ Aforo, IMD: Superficie Carretera:

Tipo Carretera: Flujo de:

☒ Datos Horarios de Aforo: Pendiente Carretera:

Número de Vehículos/Hora Q

D: E: N:

Porcentaje de Vehículos Pesados p (%):

D: E: N:

☐ Emisión: Law'dB(A)

D: E: N:

Día Tarde Noche

Fig.5.8 – Colocação de dados no CadnaA na rua 3

Foi estipulado que o número de veículos que circulam diariamente no período diurno é 1513 veículos/hora, e que o número de veículos que passam diariamente no período nocturno é 222 veículos/hora, apesar das reduzidas contagens efectuadas neste local.

5.2.2.2. Caracterização da Rua Dr. Roberto Frias

A rua Dr. Roberto Frias, para fins de cálculo de emissão de ruído, será analisada como se de uma via com sentido único se tratasse. A figura 5.9 ilustra, representado com um círculo azul, o local onde se efectuaram as medições pontuais. O ponto escolhido situava-se a cerca de 10 metros do eixo da via.

Com o objectivo de promover uma maior credibilidade nos valores retirados o local de medição foi sempre respeitado e repetido com o maior rigor possível.



Fig.5.9 – Rua Dr. Roberto Frias (local de medições pontuais) [25]

Na sequência da caracterização do nó situado na rua António Bernardino Almeida, a rua de ligação entre as duas ruas já havia sido caracterizada. Como tal, apenas se consideram as contagens de tráfego realizadas na rua Dr. Roberto Frias.

Na rua Dr. Roberto Frias, passam em média 1467 veículos/hora dos quais 3,6% representam veículos pesados em período diurno, e 307 veículos/hora em período nocturno com 2,7% de veículos pesados.

 A screenshot of the 'Carretera (NMPB)' software window. The window contains various input fields and buttons for configuring road noise assessment parameters. The 'ID' is set to 'EST_4'. The 'Límite Velocidad. (km/h)' is set to '50'. The 'Superficie Carretera' is set to 'Asfalto estriado'. The 'Flujo de' is set to 'Flujo Continuo FI'. The 'Pendiente Carretera' is set to '0,0'. The 'Datos Horarios de Aforo' section shows the following values:

Número de Vehiculos/Hora Q		
D: 1467,0	E: 0,00	N: 307,00

Porcentaje de Vehiculos Pesados p (%)		
D: 3,6	E: 0,0	N: 2,3

 The 'Emission' section shows the following values:

Emission: Law'dB(A)		
D: 87,4	E: 0,0	N: 80,0

 The 'Día', 'Tarde', and 'Noche' tabs are visible at the bottom.

Fig.5.10 – Colocação de dados no CadnaA na rua Dr. Roberto Frias

5.2.2.3. Aferição do Mapa

Uma vez arbitrados os dados de tráfego característicos da zona de medições, e ainda considerando que as restantes ruas, se encontram em conformidade com a realidade acústica actual, os mapas calculados por intermédio dos valores práticos estão representados nas figuras 5.11 e 5.12.

O Quadro 5.4 organiza os valores de L_{den} e L_n dos novos mapas para os três pontos em estudo.

Quadro 5.5 – Valores de referência no Mapa de Ruídos aferido

Indicadores de referência	Pontos de referência		
	1	2	3
L_{den} (dB(A))	63,9	66,9	73,3
L_n (dB(A))	55,0	58,6	66,3

Os resultados obtidos no cálculo da malha da zona em estudo, apresentam-se próximos dos inicialmente calculados com base nos dados retirados nas medições contínuas e pontuais, ou seja, a relação entre o número de passagens médias de veículos e o nível de pressão sonora obtido, é coerente com a realidade.

Uma vez que o programa de cálculo não conta com as fontes sonoras temporárias, como é o caso das obras existentes na área de estudo, estes resultados próximos podem indicar que o ruído predominante é o produzido pelos veículos rodoviários.

O ponto B apresenta dados coerentes com as medições contínuas tendo em conta a distância ao ponto 1, no que diz respeito aos valores retirados das medições pontuais, não são comparáveis, pois foram realizadas em número reduzido.



Fig.5.11 – Mapa de Ruídos aferido em período diurno



Fig.5.12 – Mapa de Ruídos aferido em período nocturno

Quando comparados com os valores anteriores, estes últimos são bastante mais elevados. Estes resultados podem ser consequência dos ruídos produzidos pela constante actividade de construção civil, e remodelação urbana. Sem uma segunda confirmação na ausência destes fenómenos, será impossível concluir quais as reais causas de uma diferença tão notórias.

No mapa de ruídos aferido, o esquema de cores acrescenta a cor azul para ruídos superiores a 75 dB(A) de forma a complementar as recomendações da Agência Portuguesa do Ambiente.

5.3. MODELAÇÃO DE TRÁFEGO

A substituição de veículos ligeiros por veículos pesados teve em conta o número de passageiros que um veículo pesado de transporte público consegue reunir. Tendo por modelo os autocarros da STCP, o número de passageiros de um autocarro pode chegar até aos 90. [21]

O número arbitrado, tendo em conta a média actual, de passageiros por cada veículo ligeiro foi 1,1. Consequentemente, tendo em conta estes dois parâmetros, cada 80 veículos ligeiros podem ser substituídos por 1 autocarro. A rua António Bernardino Almeida daria um número demasiado reduzido (inferior á unidade) de veículos pesados em período nocturno, deste modo, assumiu-se que passa apenas 1 veículo pesado por hora.

A circulação de veículos passa então a ter a seguinte rotina:

Quadro 5.6 – Circulação de veículos pesados por ruas

	Rua Dr. Roberto Frias Veículos/hora	Rua António Bernardino Almeida Veículos/hora
Período Diurno	76	12
Período Nocturno	4	1

Na sequência da simulação acima referida foram também realizadas simulações de reduções de veículos ligeiros, substituídos pelo número equivalente de veículos pesados de transportes públicos, em percentagens de 10%, 25%, 50% e 75%. Estas situações, nomeadamente a primeira, aproximam-se mais dos objectivos políticos de redução de utilização de transportes particulares.

Quadro 5.7 – Circulação de veículos ligeiros e pesados por ruas

Percentagem de Redução	Local de Referência	nº ligeiros/hora		nº pesados/hora	
		dia	noite	Dia	noite
10%	António Bernardino Almeida	1213	180	14	0
		889	131	10	0
		593	88	7	0
	Dr. Roberto Frias	1273	270	53	7
25%	António Bernardino Almeida	1011	150	14	0
		741	110	10	0
		494	74	7	0
	Dr. Roberto Frias	1061	225	53	7
50%	António Bernardino Almeida	674	100	14	0
		494	73	10	0
		329	49	7	0
	Dr. Roberto Frias	707	150	53	7
75%	António Bernardino Almeida	337	50	14	0
		247	37	10	0
		165	25	7	0
	Dr. Roberto Frias	354	75	53	7

5.3.1. SIMULAÇÃO NO SOFTWARE CADNAA

Tendo em conta o pressuposto anteriormente descrito, foram inseridos os valores concluídos no software de cálculo CadnaA. As figuras 5.13 e 5.14 retratam a substituição integral dos veículos ligeiros por veículos pesados.

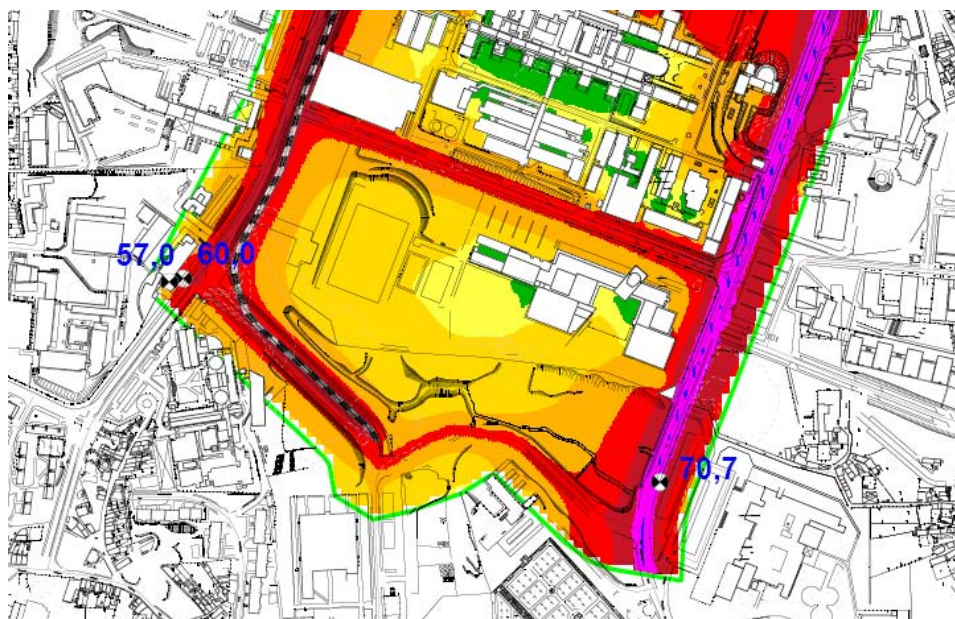


Fig.5.13 - Mapa de Ruído apenas com circulação de transportes colectivos em período diurno (L_{den})



Fig.5.14 – Mapa de Ruído apenas com circulação de transportes colectivos em período nocturno (L_n)

Numa perspectiva mais radical, foi também estudado o efeito da impossibilidade total de circulação de veículos automóveis em todas as vias, com excepção da Estrada da Circunvalação, cujo corte de tráfego, mesmo numa situação hipotética e académica se torna irrealista e inconcebível dada a sua abundante utilização na sua actual forma (admitem-se soluções estruturais, como túneis, na tentativa de solucionar este problema). Neste caso a rua Dr. Plácido Costa foi desactivada, ou seja, não produz ruído.

As imagens 5.15 e 5.16 traduzem as consequências desta última conjectura. Como se pode observar a redução de ruído é profunda, e totalmente influenciada pela contribuição do Metro e da utilização da Estrada da Circunvalação.

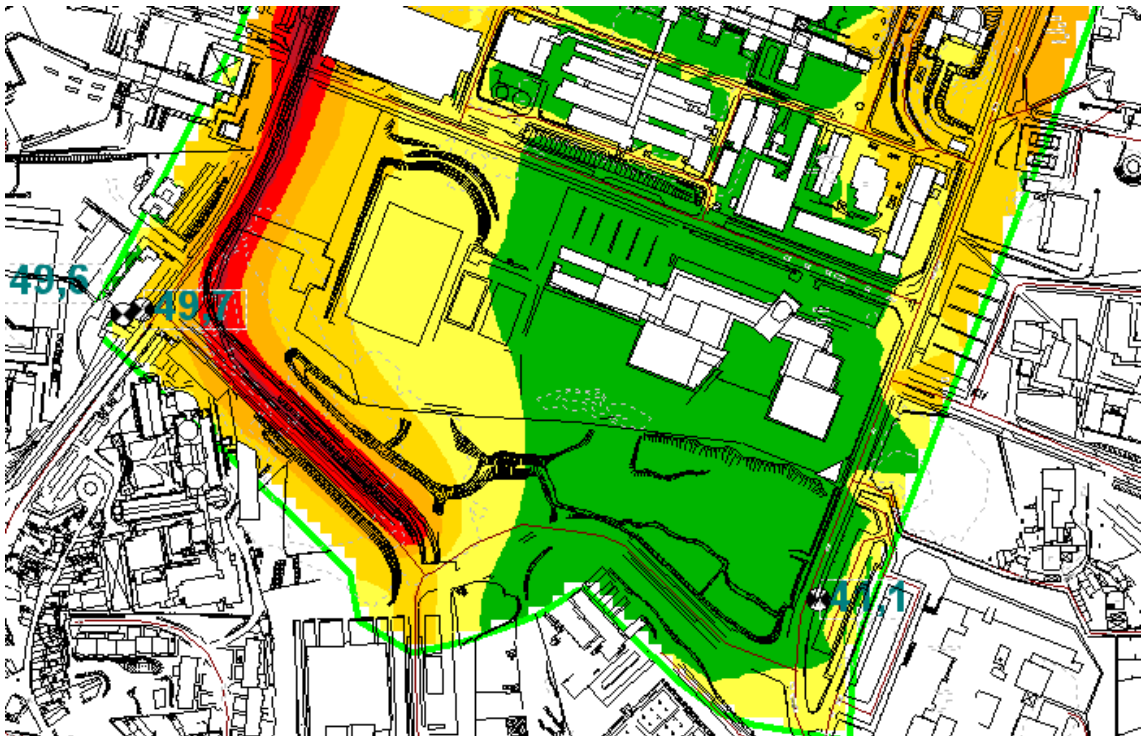


Fig.5.15 – Mapa de Ruídos modelado em período diurno com acesso restrito a veículos



Fig.5.16 – Mapa de Ruídos modelado em período noturno com acesso restrito a veículos

Quadro 5.8 – Valores de referência de todas as situações estudadas

Mapas de referência	Indicadores de referência	Pontos de referência		
		1	2	3
Mapa de Ruído de Base	L_{den} (dB(A))	58,7	61,3	65,9
	L_n (dB(A))	48,8	52,1	56,3
Mapa de Ruído Aferido	L_{den} (dB(A))	63,9	66,9	73,3
	L_n (dB(A))	55,0	58,6	66,3
Mapa de Ruído da redução de 10% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	63,6	66,6	73,1
	L_n (dB(A))	54,7	58,3	66,0
Mapa de Ruído da redução de 25% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	63,1	66,0	72,7
	L_n (dB(A))	54,1	57,6	65,5
Mapa de Ruído da redução de 50% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	62,1	65,0	72,0
	L_n (dB(A))	52,8	56,3	64,7
Mapa de Ruído da redução de 75% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	60,8	63,5	71,2
	L_n (dB(A))	51,0	54,5	63,7
Mapa de Ruído apenas com circulação de transportes colectivos	L_{den} (dB(A))	57,0	60,0	70,3
	L_n (dB(A))	55,0	58,6	63,1
Mapa de Ruído com acesso restrito a veículos rodoviários	L_{den} (dB(A))	49,9	49,9	41,2
	L_n (dB(A))	40,0	40,1	34,2

Como se pode observar, os valores calculados após as simulações de tráfego são inferiores. De modo a melhor analisar as reduções sucedidas o quadro 5.9 expõe a diferença entre os valores de base e os resultados obtidos através das simulações.

Quadro 5.9 – Diferença entre os valores obtidos em simulações e os valores de referência

Mapas de referência	Indicadores de referência	Pontos de referência		
		1	2	3
Mapa de Ruído da redução de 10% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	0,3	0,3	0,2
	L_n (dB(A))	0,3	0,3	0,3
Mapa de Ruído da redução de 25% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	0,8	0,9	0,6
	L_n (dB(A))	0,9	1,0	0,7
Mapa de Ruído da redução de 50% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	1,8	1,9	1,3
	L_n (dB(A))	2,2	2,3	1,6
Mapa de Ruído da redução de 75% de veículos ligeiros	L_{den} (dB(A))	3,1	3,4	2,1
	L_n (dB(A))	4,0	4,1	2,6
Mapa de Ruído apenas com circulação de transportes colectivos	L_{den} (dB(A))	6,9	7,2	2,6
	L_n (dB(A))	6,1	5,8	3,2
Mapa de Ruído com acesso restrito a veículos rodoviários	L_{den} (dB(A))	14,0	17,0	32,1
	L_n (dB(A))	15,0	18,5	32,1

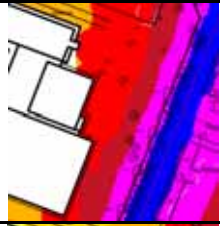

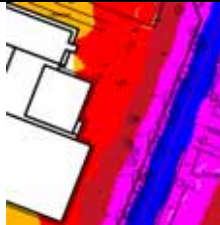

Como se pode observar as reduções aumentam gradualmente à medida que se trocam veículos ligeiros por veículos pesados. Nesta simulação, o valor mais elevado ocorre quando os veículos ligeiros são integralmente substituídos por veículos pesados. Conclui-se também que substituições inferiores a 25% influenciam pouco no ruído urbano da zona em estudo.

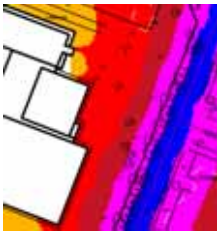

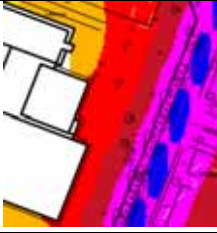

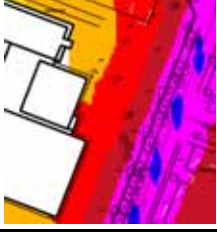


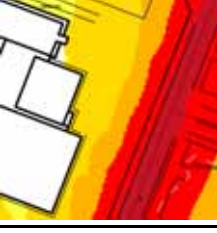
Quando analisados os resultados da ultima simulação, na qual se restringe o acesso automóvel, estes demonstram-se reveladores de uma enorme transformação acústica. Os pontos de referência 1 e 2, correspondentes aos locais de medição situados no ISEP e na rua António Bernardino Almeida, apresentam as menores reduções, provavelmente associados à passagem do metro.

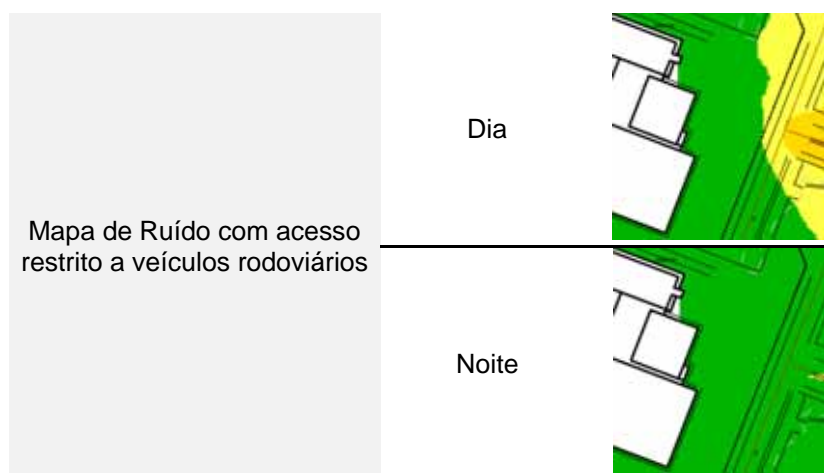
Comparando os resultados obtidos com os limites de ruído impostos pelo regulamento, conclui-se que apenas a ultima situação permitira satisfazer as condições impostas pela carta de classificação de zonas.

Na perspectiva de analisar a exposição da população da área em estudo ao ruído, o quadro 5.10 retrata uma porção da área total, a qual contem uma fachada da Faculdade Desporto da Universidade do Porto, ao longo das várias transformações de tráfego.

Quadro 5.10 – Evolução da exposição de uma fachada ao ruído

Mapas de referência	Períodos de Referência	Área de Análise
Mapa de Ruído Aferido	Dia	
	Noite	
Mapa de Ruído da redução de 10% de veículos ligeiros	Dia	
	Noite	

Mapa de Ruído da redução de 25%% de veículos ligeiros	Dia	
	Noite	
Mapa de Ruído da redução de 50% de veículos ligeiros	Dia	
	Noite	
Mapa de Ruído da redução de 75% de veículos ligeiros	Dia	
	Noite	
Mapa de Ruído apenas com circulação de transportes colectivos	Dia	
	Noite	



A redução da exposição das fachadas ao ruído proveniente da rua Dr. Roberto Frias é progressiva, porém reduzida no que diz respeito à substituição de veículos ligeiros por veículos pesados. Mais uma vez reduções inferiores a 25% não apresentam resultados significantes. No exemplo indicado apenas reduções de 75% de veículos ligeiros permitem melhorar significativamente a qualidade ambiental na maior parte da fachada.

Quando substituídos todos os veículos ligeiros a fachada sofre uma grande redução de exposição ao ruído, assim se deduz que esta transformação permite obter o nível de qualidade ambiental exigido pela Câmara Municipal do Porto descrito na carta de classificação de zonas.

5.3.2. SIMULAÇÃO NO MÉTODO DAS CONTRIBUIÇÕES INDIVIDUAIS

Neste método só será considerada a rua Dr. Roberto Frias, pois é a que apresenta condições de passagens de tráfego rodoviário mais próximas das condições presentes nas medições individuais. O sonómetro foi colocado à mesma distância do eixo da via nas duas situações

Na simulação de tráfego com recurso ao método desenvolvido as relações entre pesados e ligeiros mantêm-se iguais às consideradas para a simulação em software. Na anterior simulação os valores de tráfego no período de entardecer são automaticamente calculados pelo software, porém, o mesmo não se aplica neste caso, pelo que, os valores de tráfego médio diário no período de entardecer são resultado da aplicação das fórmulas 5.1, 5.2 e 5.3.

Quadro 5.11 – Número de veículos por hora em situação simulada

	Rua Dr. Roberto Frias Veículos/hora
Período Diurno	76
Período Nocturno	4
Período de Entardecer	13

Nesta situação o tempo de passagem dos veículos não excede o tempo de referência (a passagem do número máximo de veículos, 76, ocorre em 2280 segundos), assim sendo, no tempo restante será considerado o ruído ambiente.

O ruído ambiente é diferente ao longo do dia, e depende de inúmeros factores, tais como a ocorrência de obras, ou grandes infra-estruturas de transporte perto dos locais de referência, o uso dos equipamentos colectivos (faculdades e hospital) também contribui para este parâmetro.

O ruído de fundo torna-se difícil de definir, e varia de zona para zona. No caso específico de ponto de referência situado na rua Dr. Roberto Frias o ruído de fundo é uma consequência de factores difíceis de contabilizar.

Neste caso, o ruído ambiente é considerado 48,4 no período nocturno, em conformidade com os valores retirados nas medições individuais. Para efeitos de cálculo, numa perspectiva experimental, o mesmo valor será considerado nos períodos: diurno e de entardecer.

Quadro 5.12 – Indicadores de ruído obtidos em situação simulada

Nº de Pesados a passar em simultâneo	Ld (dB(A))	Le (dB(A))	Ln (dB(A))	Lden (dB(A))
0	63,6	56,5	52,7	62,7
2	68,3	63,6	52,7	66,3
3	63,6	56,5	52,7	62,7
4	63,6	56,5	52,7	62,7

Este método resulta numa diminuição muito mais significativa de ruído face à substituição de veículos ligeiros por veículos pesados, em relação aos valores obtidos na simulação efectuada no software de cálculo.

Neste caso, à medida que os veículos passam com um maior coeficiente de simultaneidade, os indicadores de ruído diminuem de valor, dando predominância ao ruído de fundo.

Este resultado díspar pode indicar que o ruído ambiente não está correcto, no entanto, outra experiências com valores de ruído ambiente mais elevados mostraram que os valores diferem em menos de 1 dB(A). Neste caso, para que os valores retirados deste método se assemelhassem aos valores retirados do software de cálculo, seria necessário aumentar significativamente o ruído ambiente para valores não realistas.

6

CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

6.1. CONCLUSÕES

Os mapas de ruído são ferramentas fundamentais no controlo de poluição sonora urbana. A sua execução deve ser cuidada e levada com seriedade e rigor.

As medições contínuas, em locais estratégicos e em elevado número, seriam o método mais fiável e rigoroso para obter os dados necessários ao cálculo de um mapa de ruídos, em conjunto com o conhecimento do volume de tráfego de todas as vias de comunicação. No entanto tal prática requer um elevado uso de recursos humanos, e consequente aumento de custos monetários. Neste caso as medições pontuais justificam-se, mas em conformidade com os períodos temporais acusticamente característicos. O procedimento preconizado nas normas portuguesas de medição não previne a obtenção de dados pouco representativos.

A análise efectuada aos registos contínuos demonstra que na semana da Queima das Fitas, a variação de ruído é pouco relevante. Este fenómeno pode ser explicado pela fraca afluência da rua António Bernardino Almeida, dado que esta rua, no seu limite se encontra em obras, e como tal, a sua utilização tornou-se reduzida. Pode-se também especular que os alunos das faculdades predominantes no pólo universitário, não os maiores contribuintes de emissão de ruído urbano, pelo que a sua ausência pouco se faz notar. Outros factores podem estar na base deste fenómeno.

As medições individuais revelaram-se difíceis de praticar, como tal, todas as considerações dependentes do uso dos dados obtidos a partir das mesmas devem ser posteriormente analisados. Como é o caso do método das contribuições individuais.

O método de cálculo do nível de pressão sonora equivalente por intermédio das contribuições individuais das fontes sonoras características de uma zona é inovador e com potencial, pois permite, com recurso a poucos dados obter valores de razoável credibilidade. O seu desenvolvimento e aprofundamento são no entanto indispensáveis. Existem variáveis de elevada importância que necessitam de ser quantificadas, como é o caso do congestionamento de tráfego e a emissão sonora de todos os tipos de veículos, bem como o seu tempo de emergência tendo em conta qualquer tipo de ruído de fundo. Este tipo de informação exige um estudo mais exaustivo e demorado.

Face aos resultados finais conclui-se que efectivamente uma redução do volume de tráfego de veículos ligeiros se traduz numa redução de ruído urbano de quase 3 dB(A).

Apesar da significativa redução sonora é impossível prever a reacção sensorial face à mudança insinuada tendo em conta que a incomodidade é de todo dependente da percepção humana.

Os valores retirados após a substituição de veículos ligeiros por veículos pesados não verificam os limites de ruído urbano relativos às zonas sensíveis, de facto, dificilmente o fariam mesmo que se tratasse de uma zona mista. Esta solução não é ainda eficiente do ponto de vista acústico e legal.

Uma solução mais eficaz está na base do acesso limitado a veículos em toda a zona do Pólo da Asprela, corroborada com os valores conseguidos por meio da segunda simulação efectuada. No caso de erradicar por completo o acesso automóvel, as mudanças já se manifestam mais visíveis. De facto esta situação, dada a classificação da zona em questão, seria por um lado benéfica e evidente, mas por outro lado pouco prática de implementar, pois existe uma procura desmedida e incontornável pelos seus equipamentos. Esta medida, caso ocorresse, deveria estar a par com uma gradual mudança de comportamento social, ou, a título de exemplo, sustentada pela construção de infra-estruturas de transporte subterrâneas, isoladas acusticamente da zona estudada.

Deve ser levada, também, em consideração a mudança nos transportes públicos, no que diz respeito à actual procura de eficiência e sustentabilidade ambiental. Neste caso, o ruído produzido pelos transportes públicos poderá ser futuramente mais reduzido, e ainda que circule em quantidades elevadas, pode vir estimular reduções mais significativas no ruído urbano.

Os valores consagrados estão isentos de rigor, para que tal não ocorresse seria necessário realizar um estudo mais extensivo e prolongado, com dados em maior número e com tratamentos estatísticos. Seria também favorável realizar uma investigação desta natureza num ambiente ausente de ruídos provisórios e intrusivos, como é o caso das obras verificadas em todas as vias pertencentes à área estudada.

Conclui-se também, que existe ainda um longo caminho a percorrer no sentido de otimizar a realidade da acústica ambiental

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A sequência do projecto realizado deve confirmar os dados recolhidos por intermédio de novas medições, em alturas de reduzida produção de ruídos provisórios, ou idealmente, na sua ausência.

Este projecto deve ser complementado com um estudo mais aprofundado de mobilidade, no sentido de representar realisticamente a quantidade de transportes públicos efectivamente necessários e os seus trajectos mais eficientes.

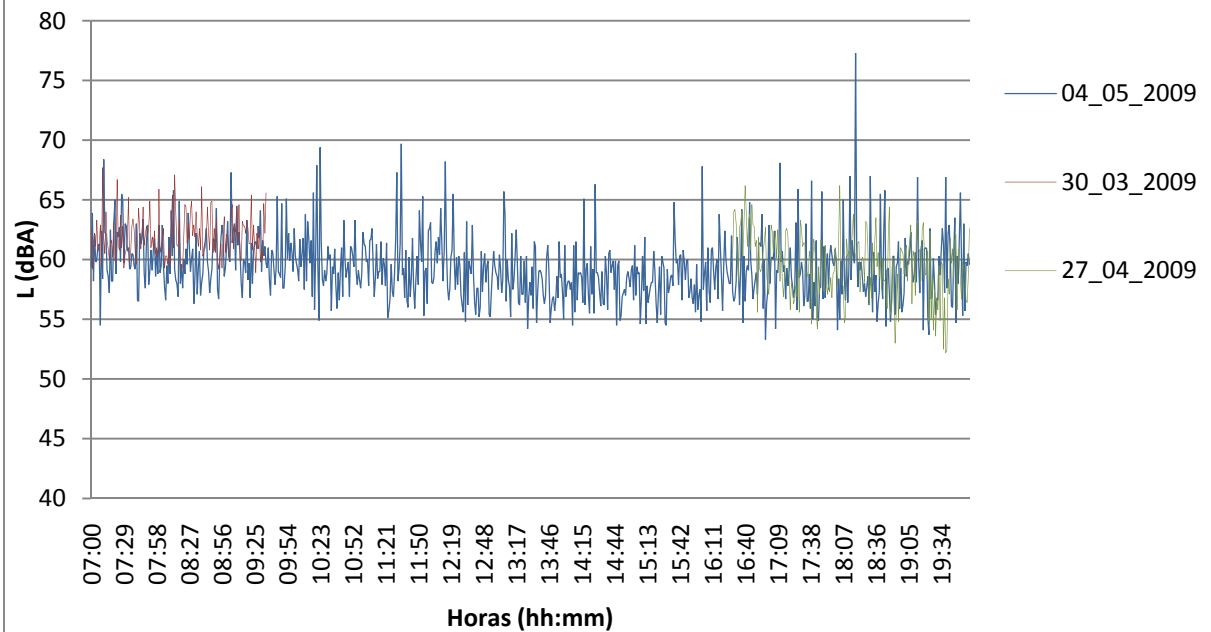
O método das contribuições individuais é de todo útil, e deve ser desenvolvido com maior rigor, sobretudo no que diz respeito à introdução de um maior número variáveis. As contribuições individuais devem ser complementadas com outros tipos de transportes, no sentido de melhor retratar a realidade. No decorrer das contagens, devem ainda ser feito um estudo que permita descrever quais as condições de passagem dos veículos, no que diz respeito à simultaneidade.

- [1] Liu, David H.F., Roberts Howard C., Noise Pollution. In *Environmental engineers' handbook*, 451-504, CRC Press, 1999.
- [2] Carvalho, António Pedro Oliveira de – *Acústica ambiental e de edifícios* – Porto: FEUP, 2007.
- [3] Everest, F. Alton - *The Master Handbook of Acoustics*. 4ª Edição. New York: McGraw-Hill, 2001.
- [4] Ministère de l'Équipement et de L'Aménagement du Territoire, *La Bruit et La Ville*, Lavoisier, França, 1978.
- [5] Brüel&Kjaer
- [6] Ouis D. Annoyance caused by exposure to road traffic noise: An update. Noise Health [serial online] 2002 [citado em 2009 Abril 27];4:69-79. Available from: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2002/4/15/69/31785>
- [7] *Lei de Bases do Ambiente, nº 11/87 de 7 de Abril.* – 1987.
- [8] *Decreto-Lei nº 292/1989 de 2 de Setembro.* - Diário da República. 1989.
- [9] *Decreto-Lei nº 292/2000 de 14 de Novembro.* - Diário da República – I Série A Nº 263. 2000.
- [10] *Decreto-Lei nº 259/2002 de 14 de Setembro.* - Diário da República – I Série-A Nº 271. 2002.
- [11] *Decreto-Lei nº 9/2007 de 17 de Janeiro.* - Diário da República – I Série-A Nº 12. 2007
- [12] *Decreto-Lei nº 146/2006 de 31 de Julho.* - Diário da República – I Série-A Nº 146. 2006
- [13] *NP 4361-2 de 2001* – Instituto Português da Qualidade
- [14] *prNP 4423 de 2003* - Instituto Português da Qualidade
- [15] Carvalho, António Pedro Oliveira de, Rocha, Cecília – *Manual Técnico para Elaboração de Planos Municipais de Redução de Ruído*. Agência Portuguesa do Ambiente, 2008.
- [16] Instituto do Ambiente – *Directrizes para Elaboração de Mapas de Ruído*. Instituto do Ambiente, 2007.
- [17] Araújo, Emília Rodrigues – *A Mobilidade como Objecto Sociológico*. II Ciclo Encontros em Sociologia.
- [18] Teles, Paula Cristina Ribeiro da Silva. *Os Territórios (Sociais) da Mobilidade. Um desafio para a área Metropolitana do Porto*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2003.
- [19] <http://shared1.ultrawhb.com/~transpor/livroverde/pdf/LivroVerde-TextoFinaldaRespostaaCE.pdf> [acedido em 2009 Abril 7]
- [20] Tavares, Pedro - *Mobilidade na Cidade do Porto*. “Análise das deslocações em transporte individual”, Setembro 2007.
- [21] <http://www.stcp.pt/pt/alugueres/default.htm> [citado em 2009 Maio 29]
- [22] <http://chracustica.zip.net/> [acedido em 2009 Março 6]
- [23] http://www.almadadigital.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/AR/?amb=0&ambiente_ar=13758215&ciboui=13758215 [acedido em 2009 Junho 3]
- [24] http://www.cm-porto.pt/users/0/60/Condicionantes_03d675a62712cf6eef3d23ca85560f32.pdf [acedido em 2009 Abril 21]
- [25] <http://maps.google.pt/> [acedido em 2009 Junho 15]

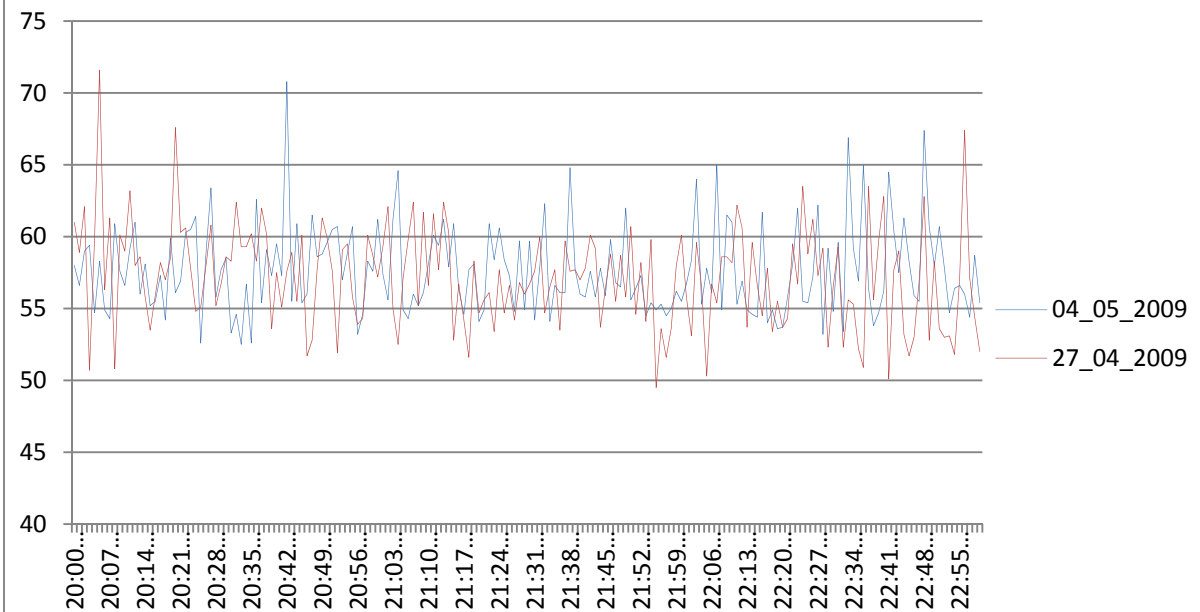
Anexo 1

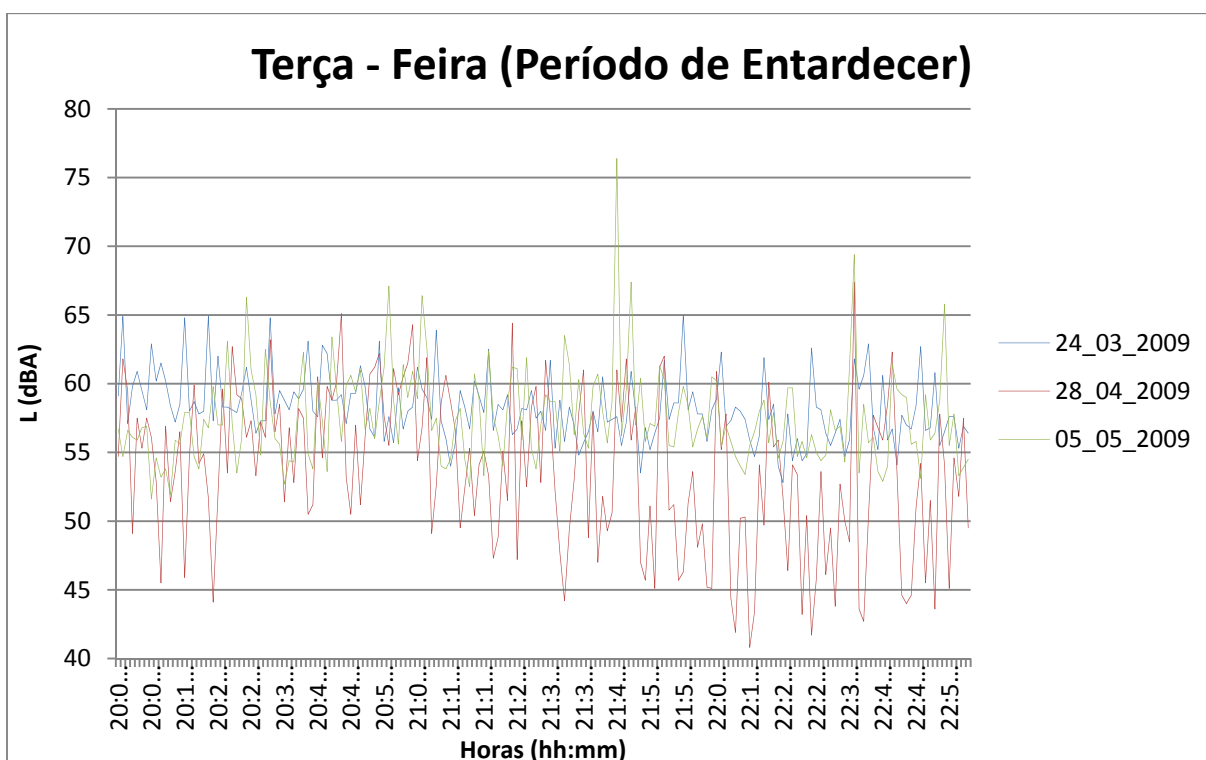
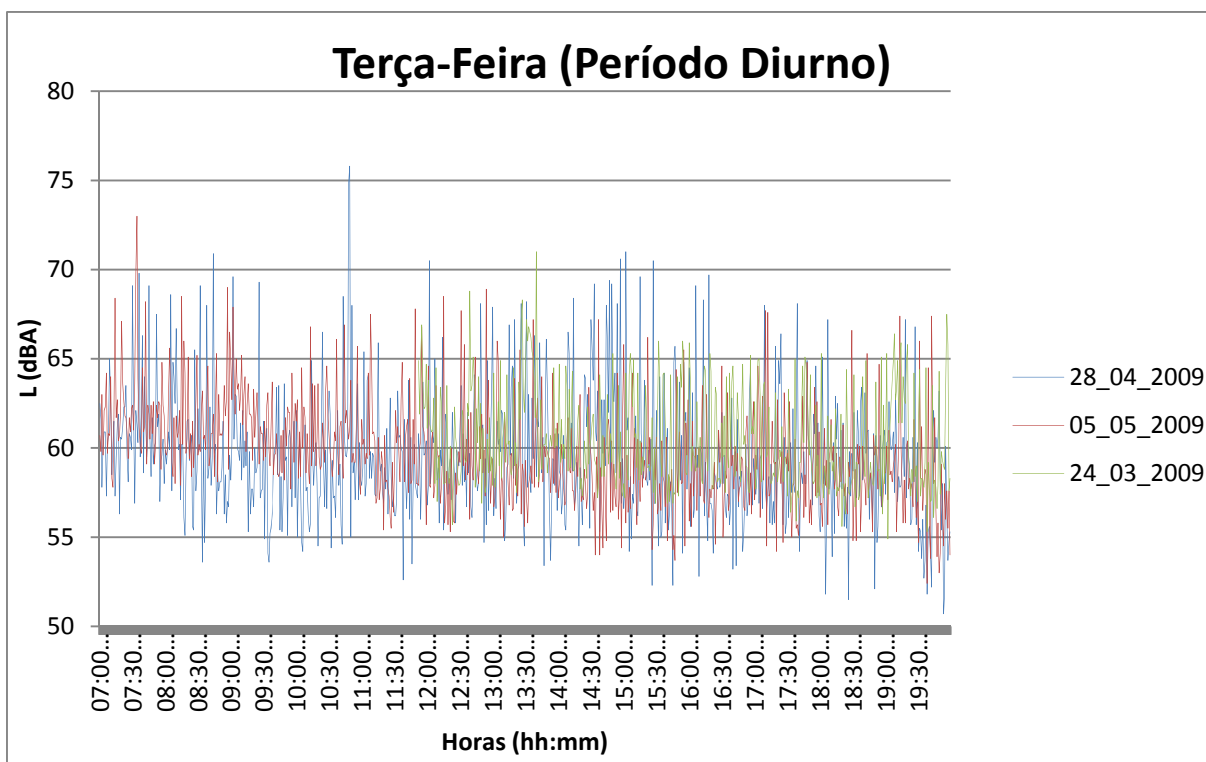
Dados das medições contínuas

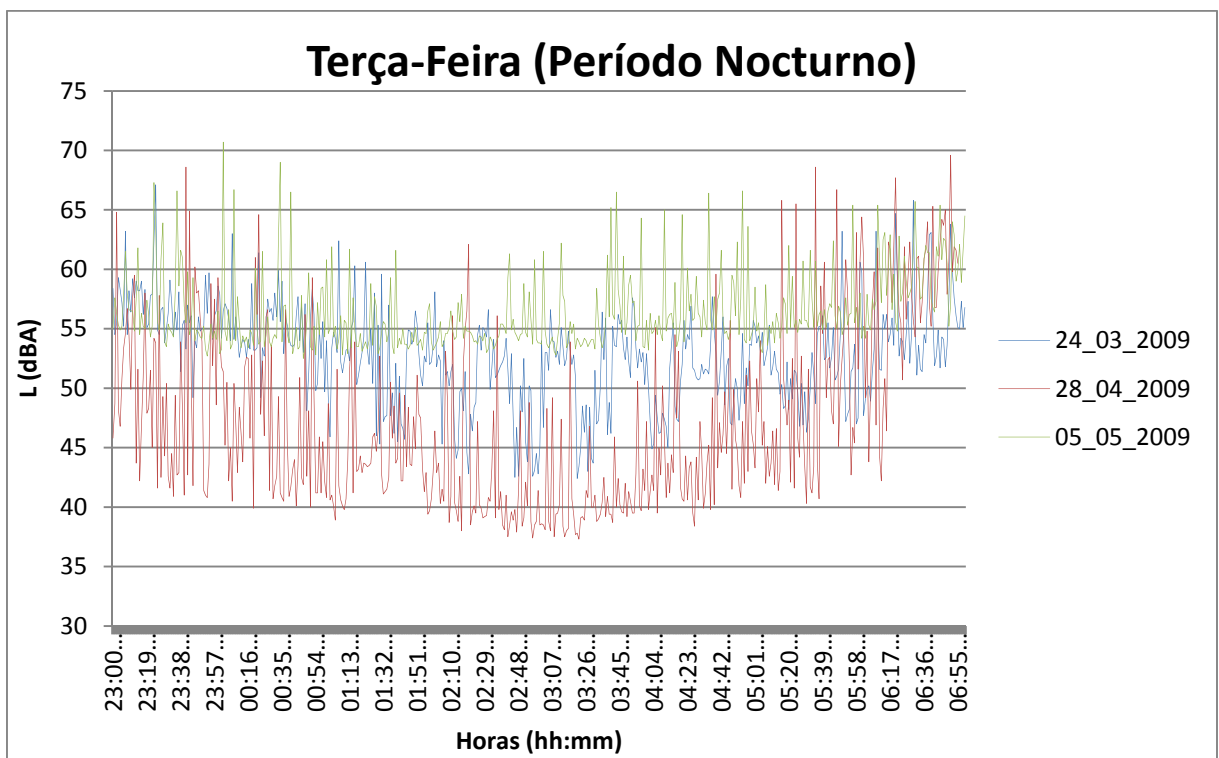
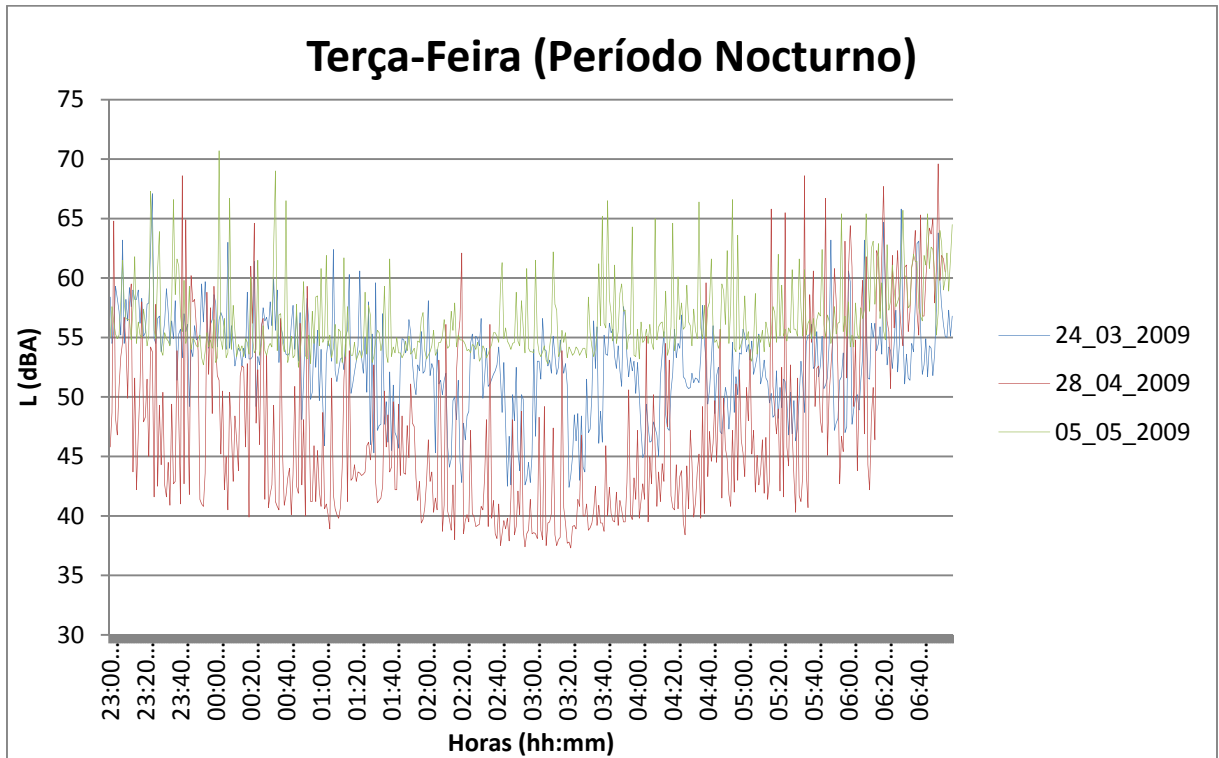
Segunda - Feira Período Diurno

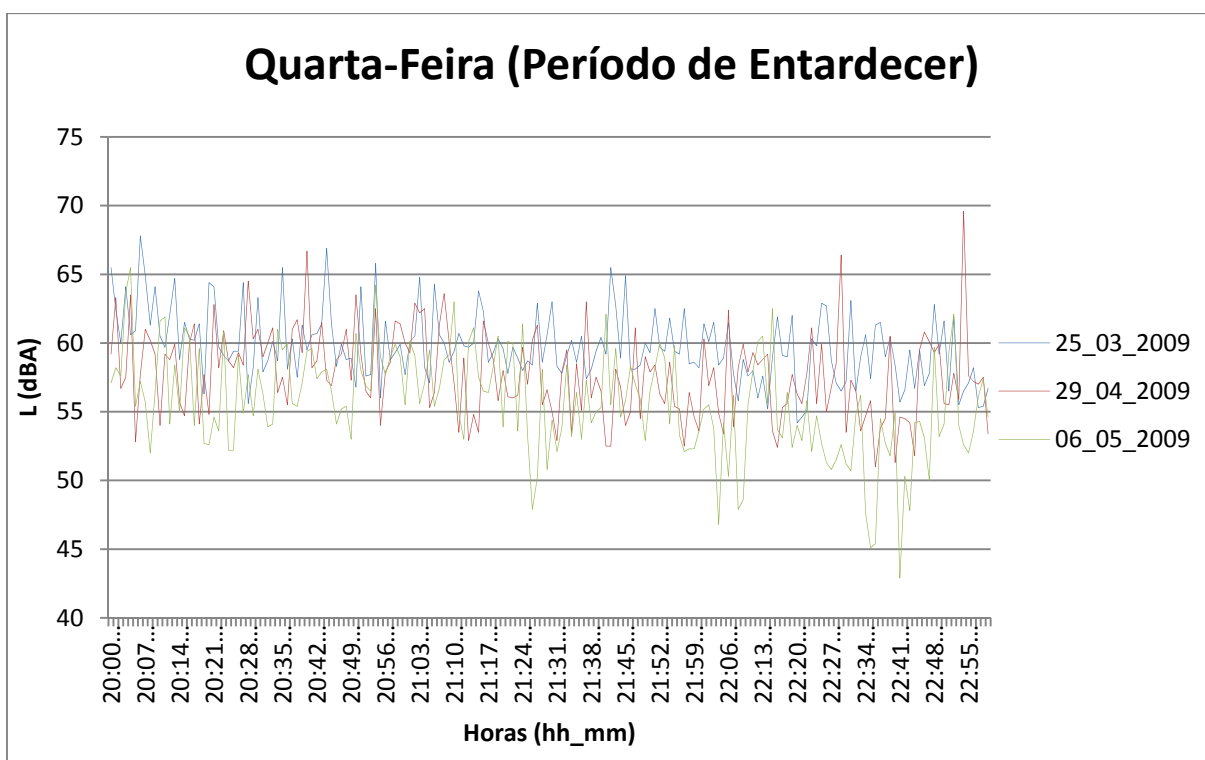
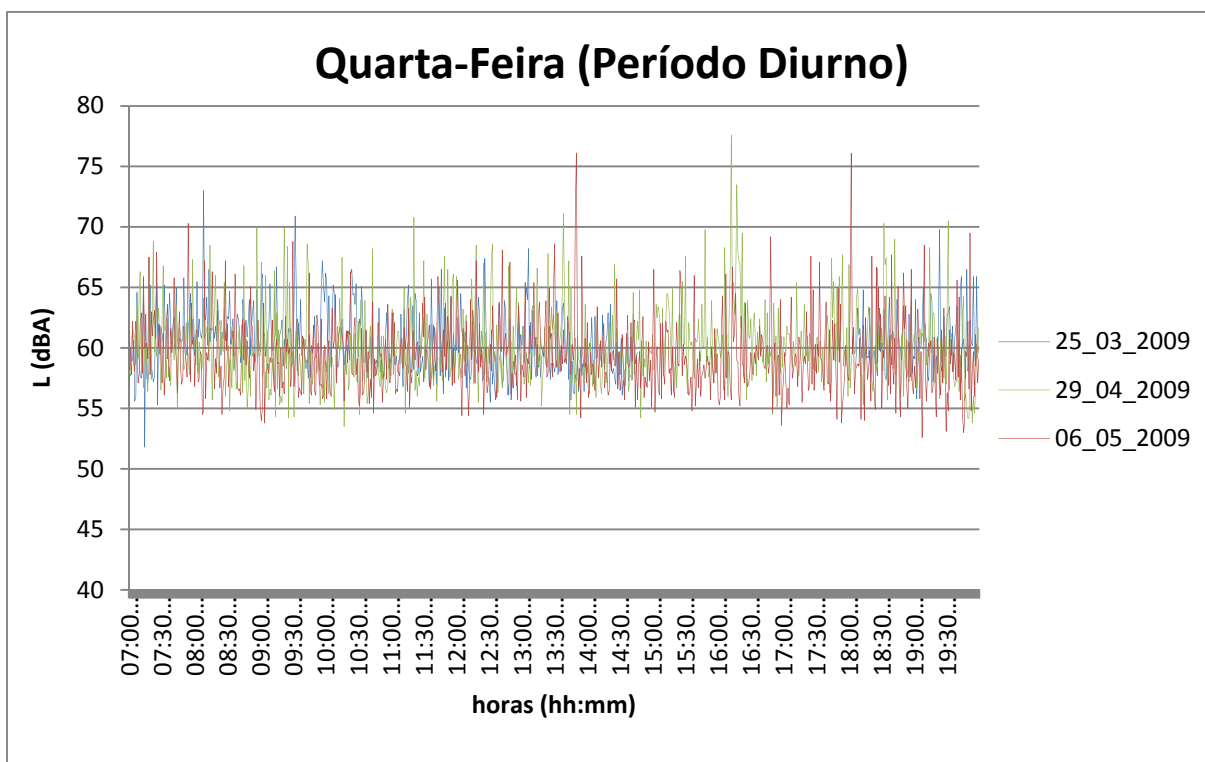


Segunda - Feira Período de Entardecer

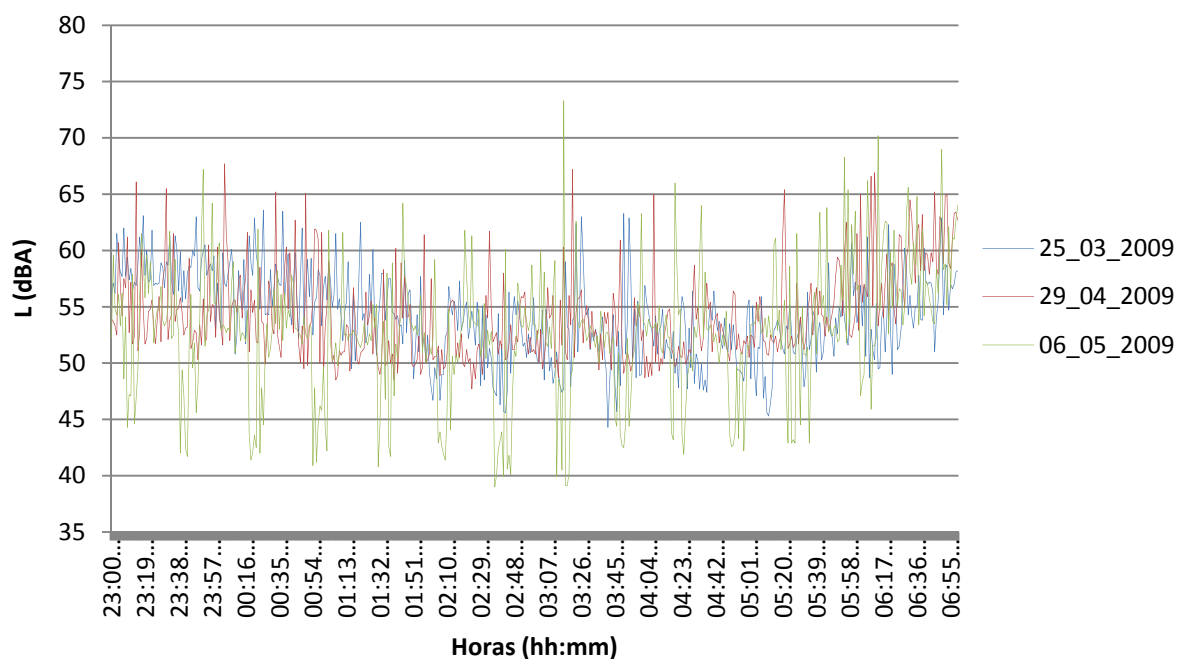




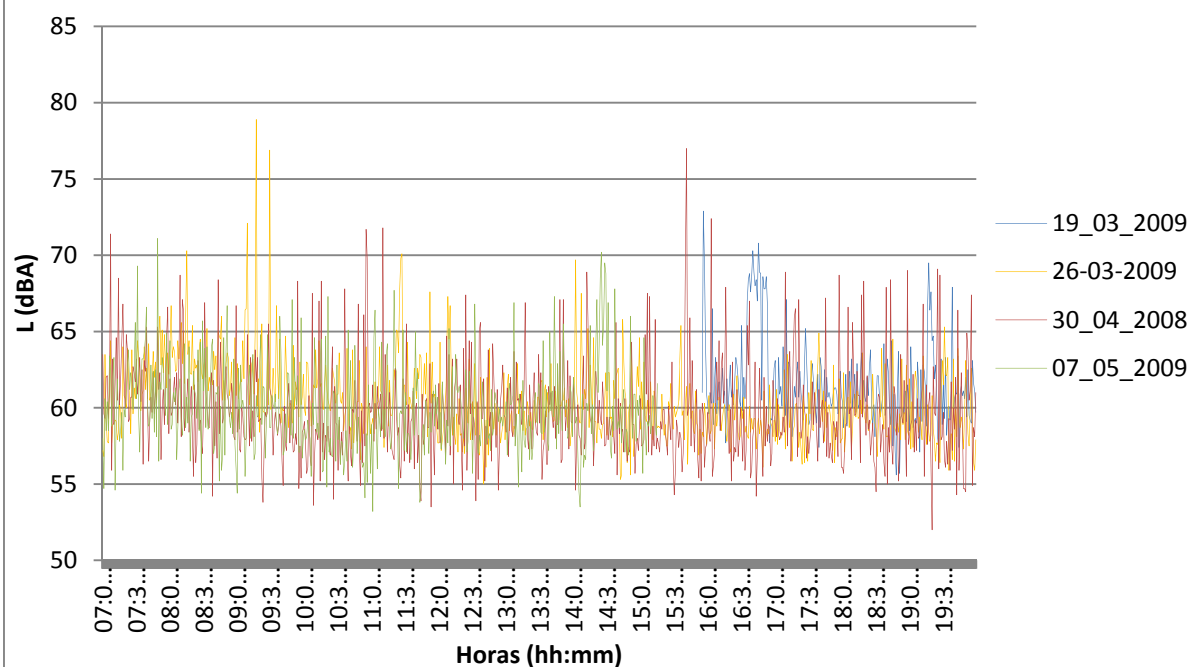


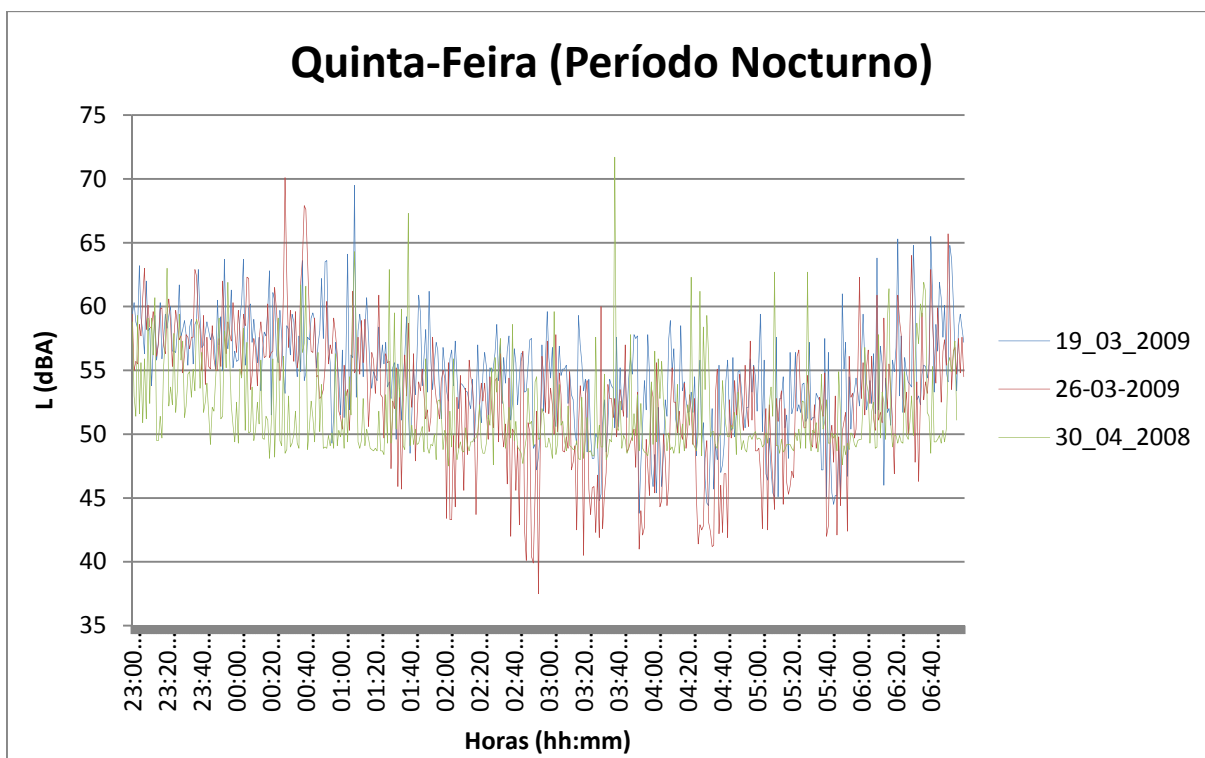
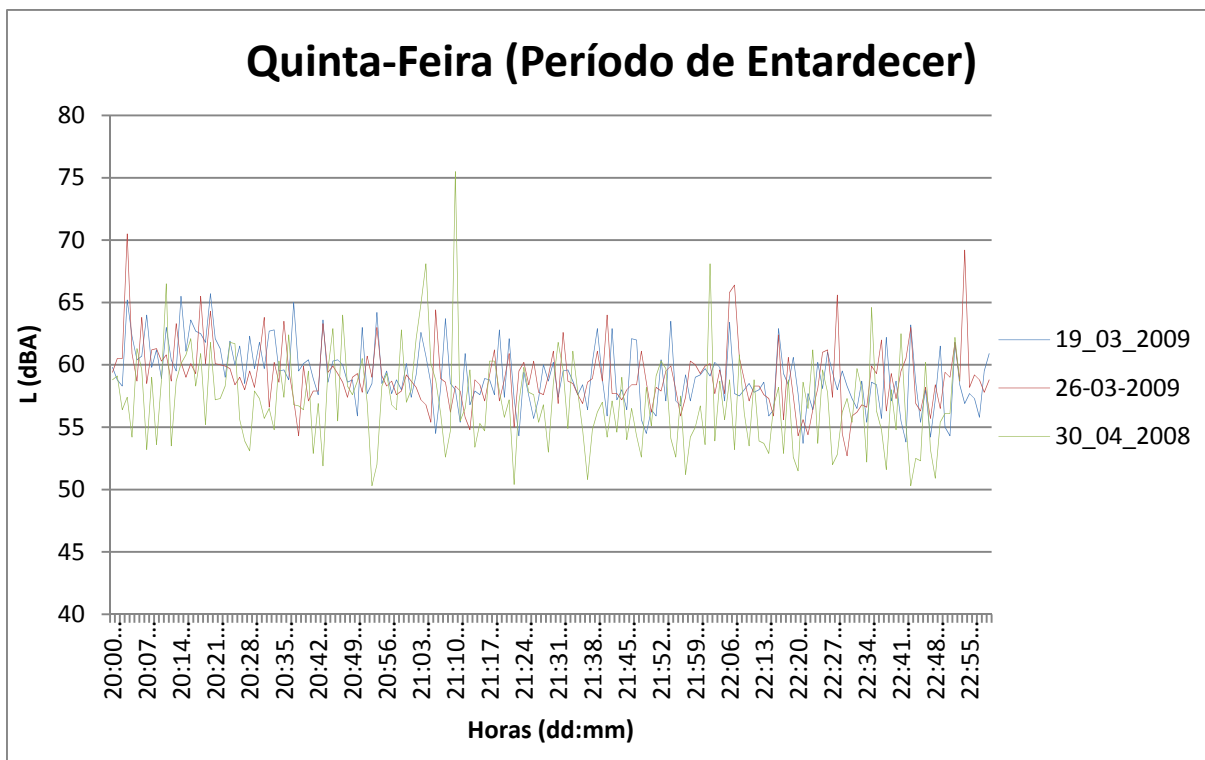


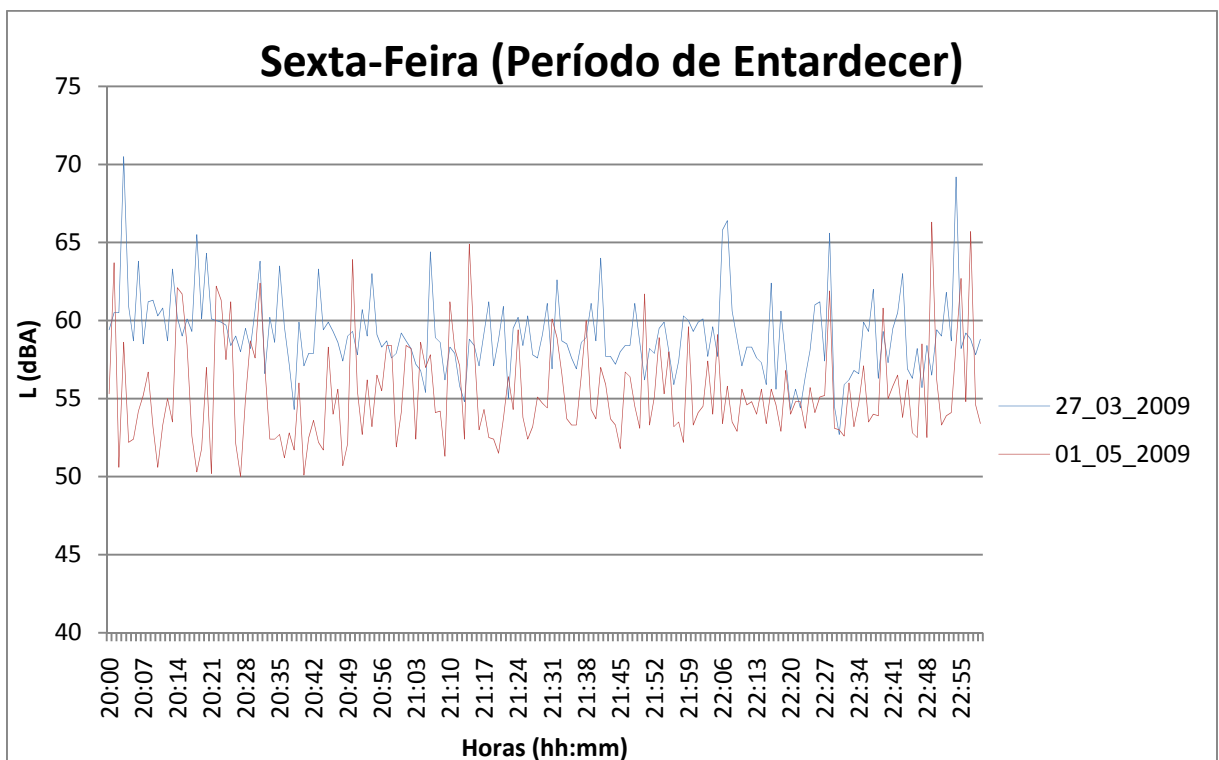
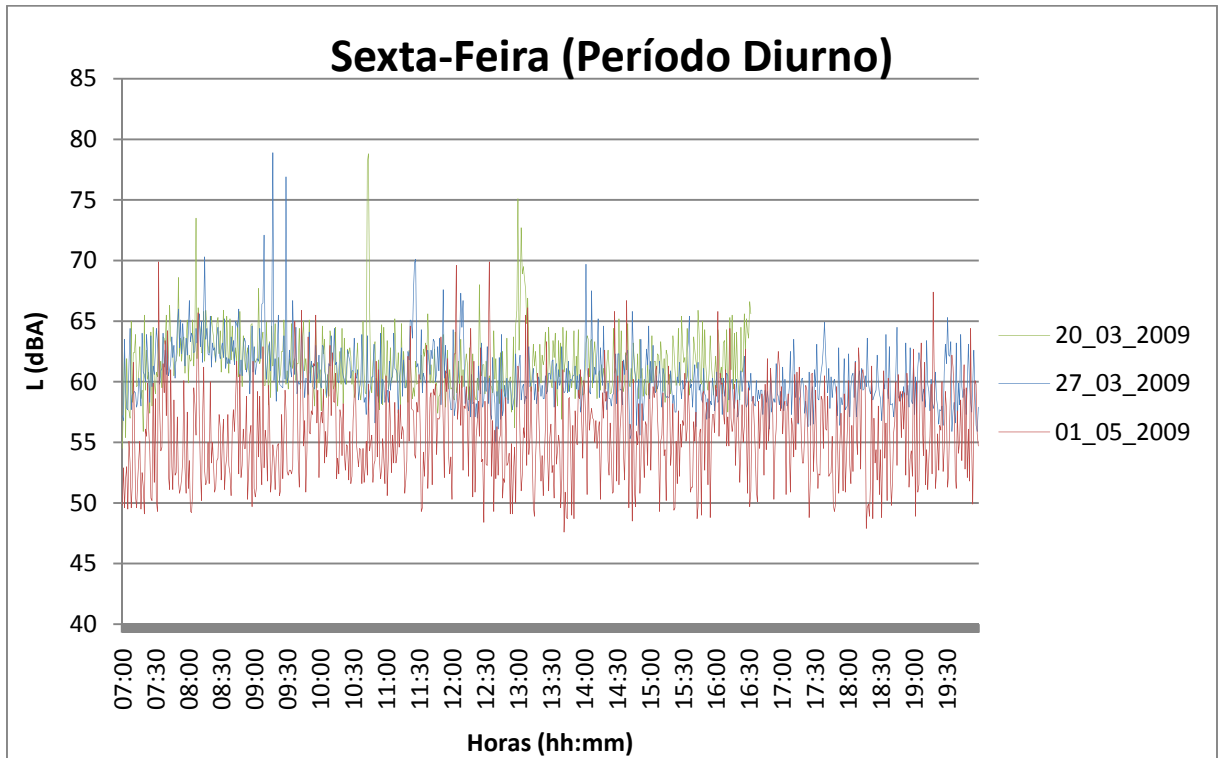
Quarta-Feira (Período Nocturno)

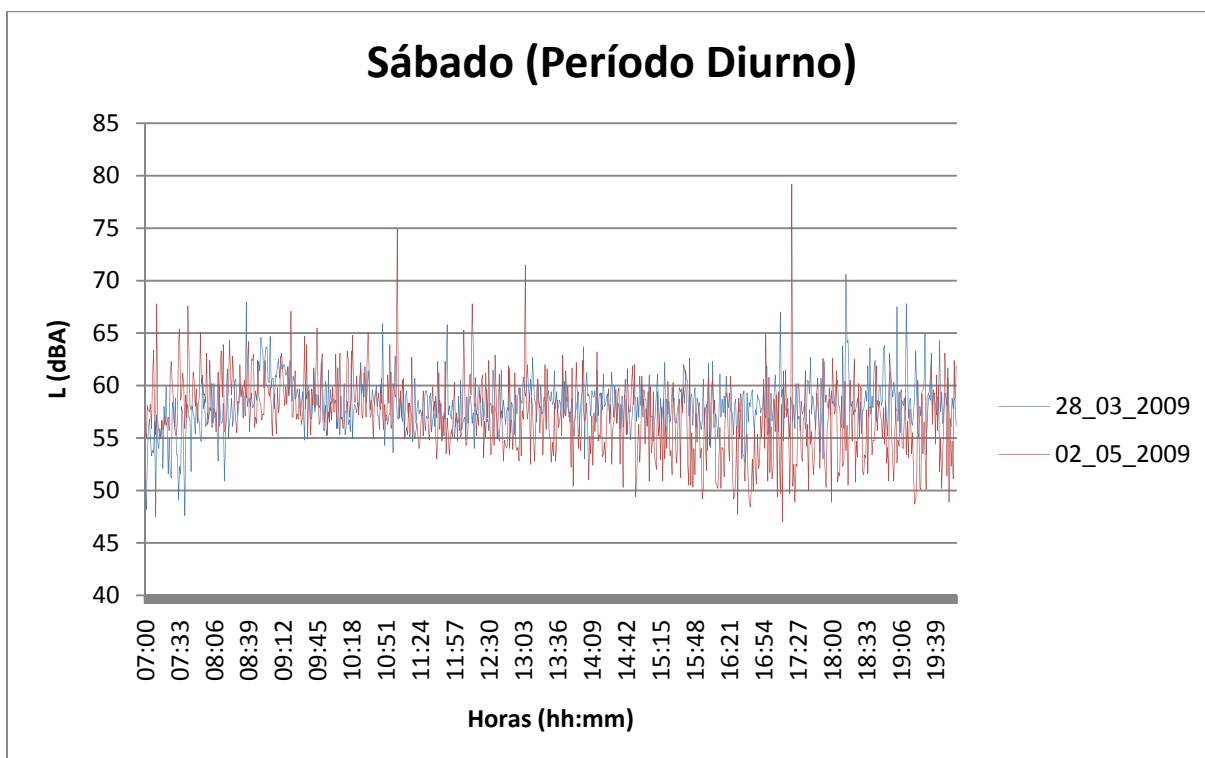
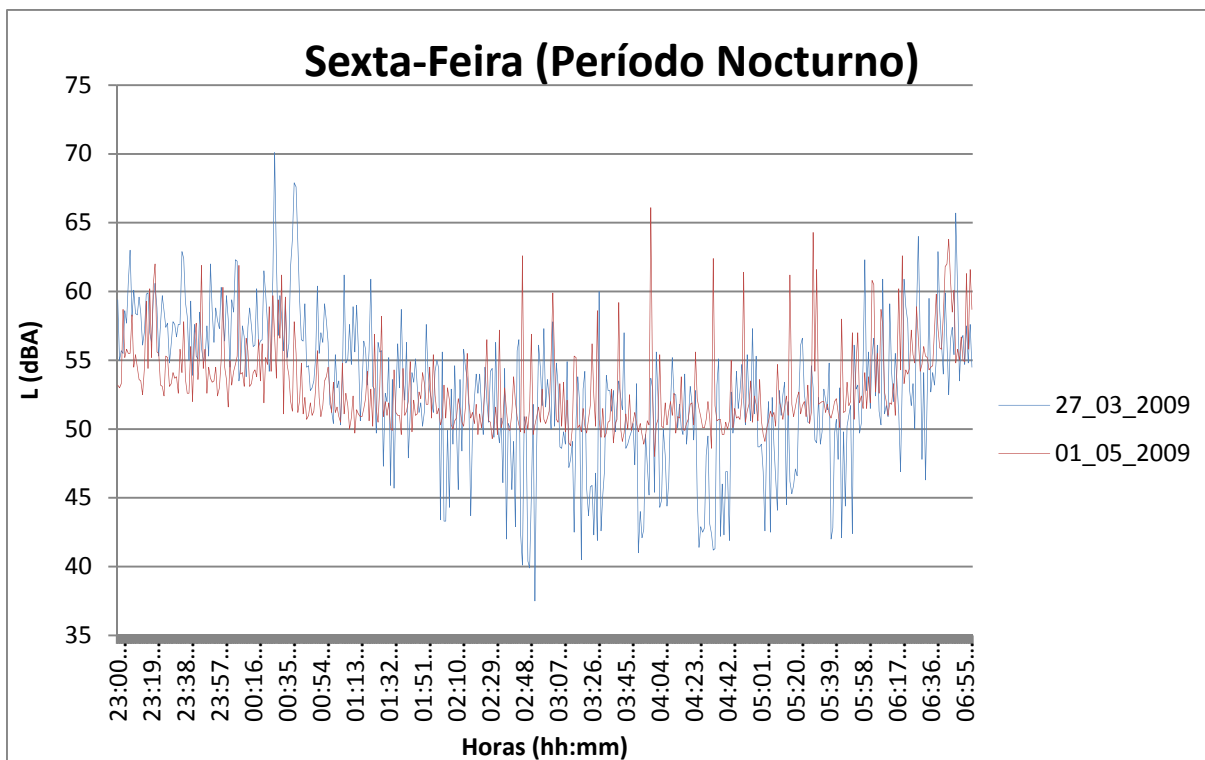


Quinta-Feira (Período Diurno)

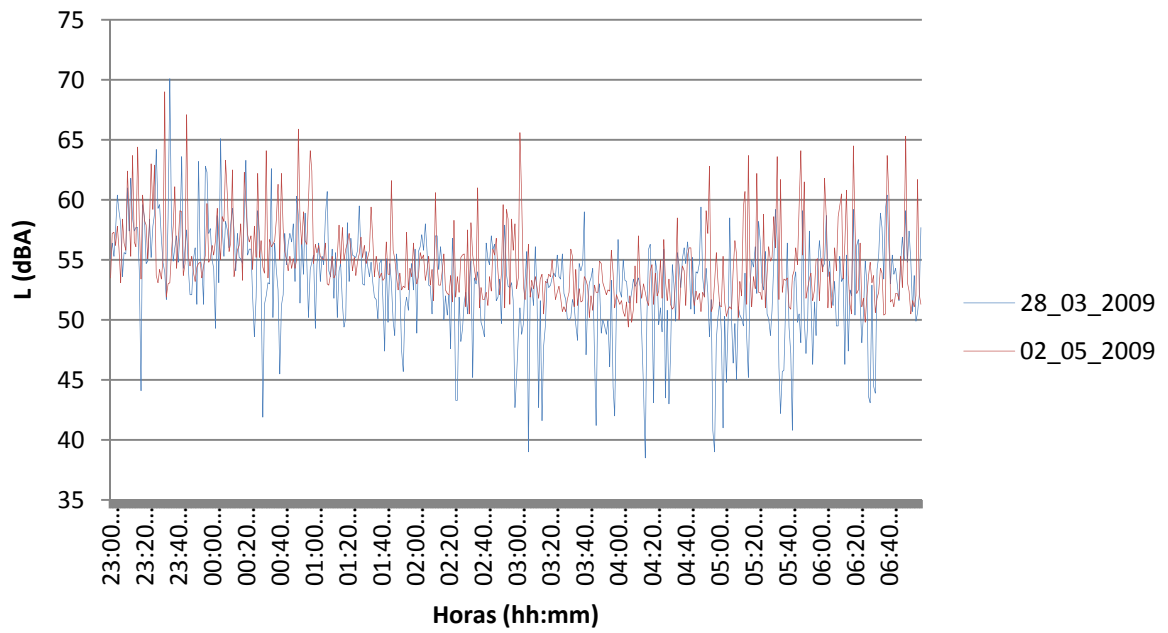




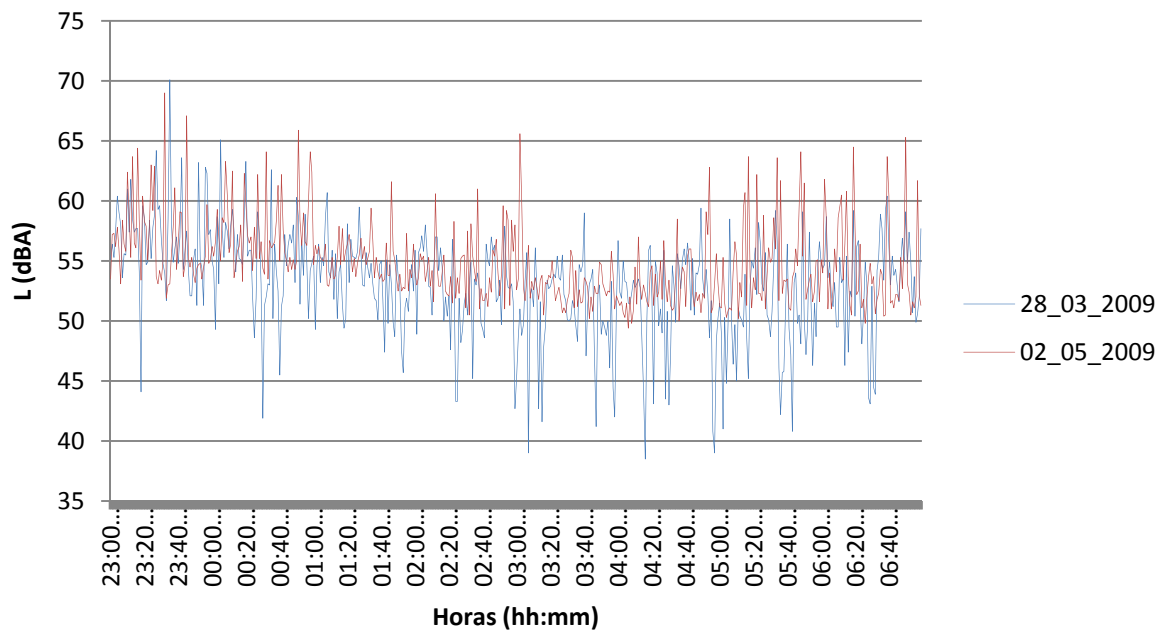


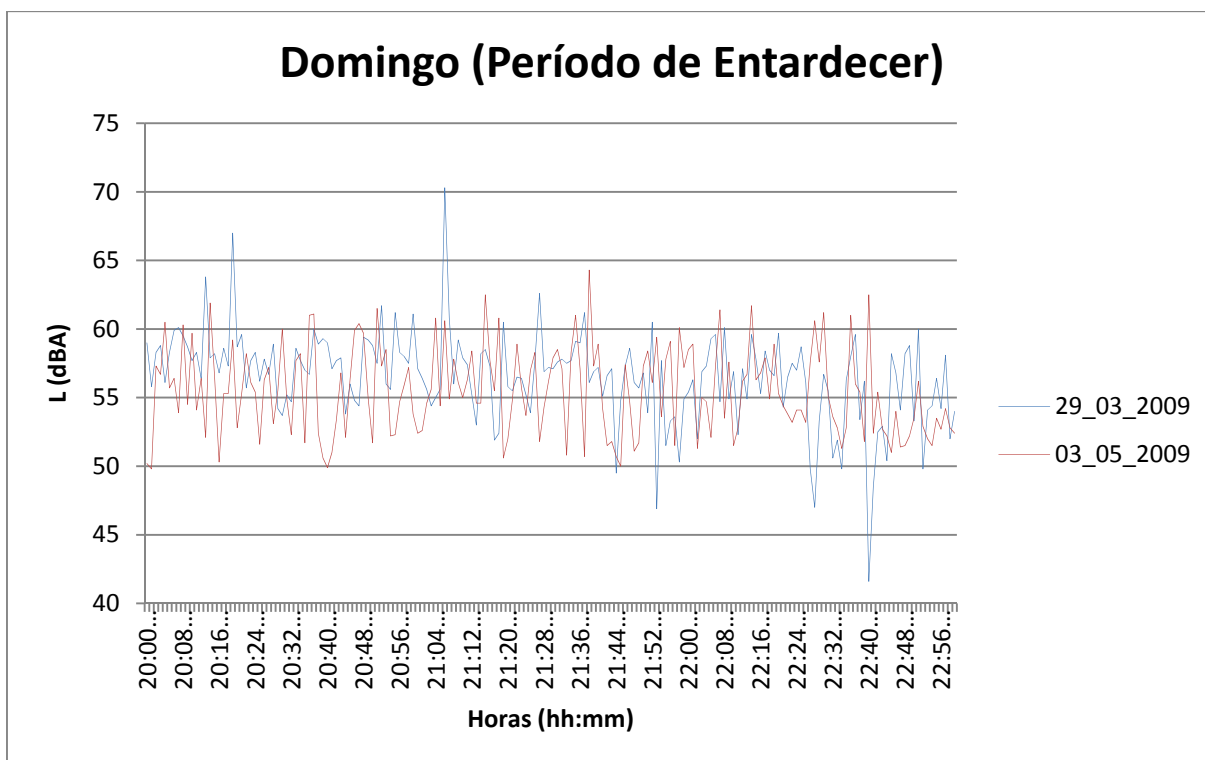
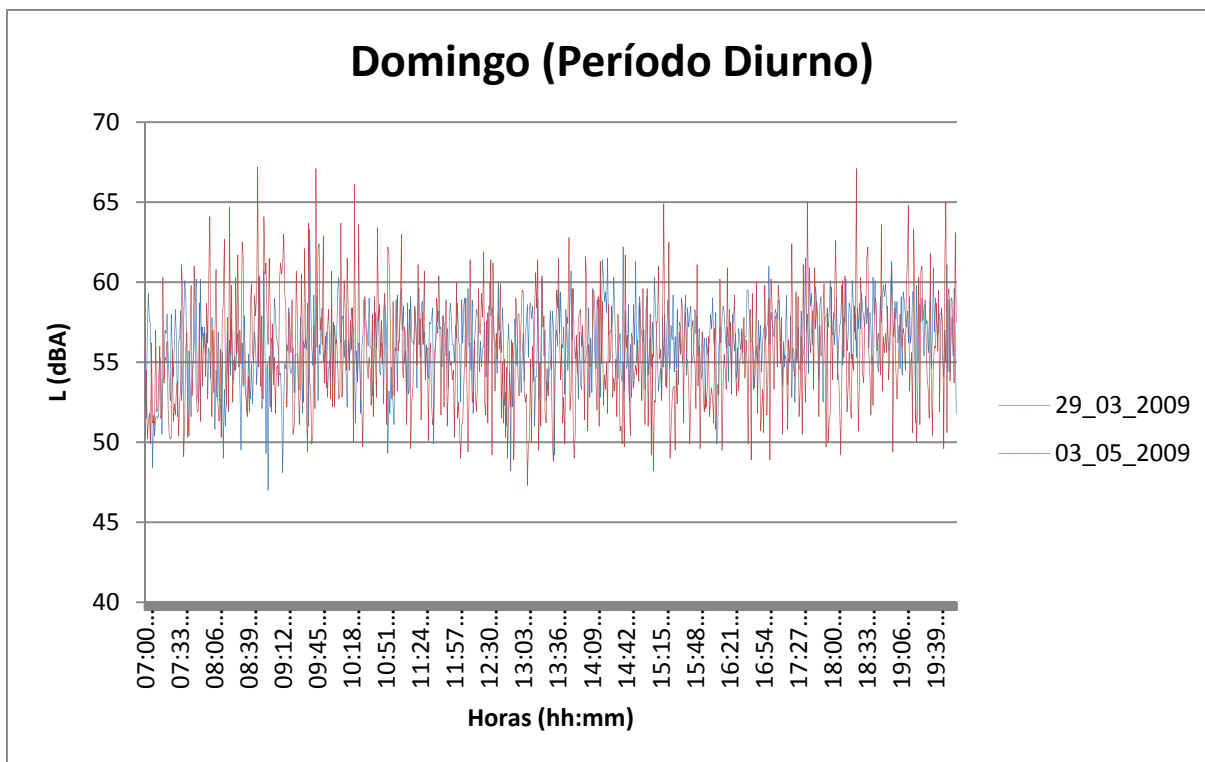


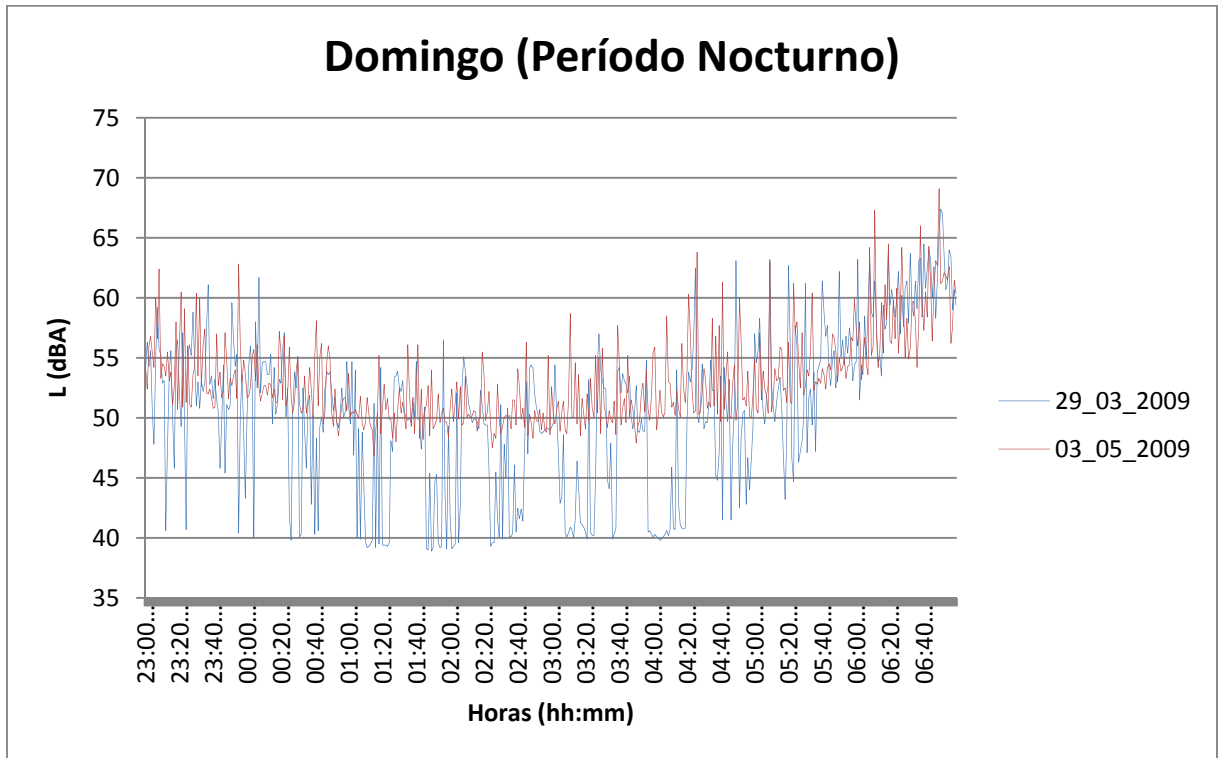
Sábado (Período de Entardecer)



Sábado (Período Nocturno)

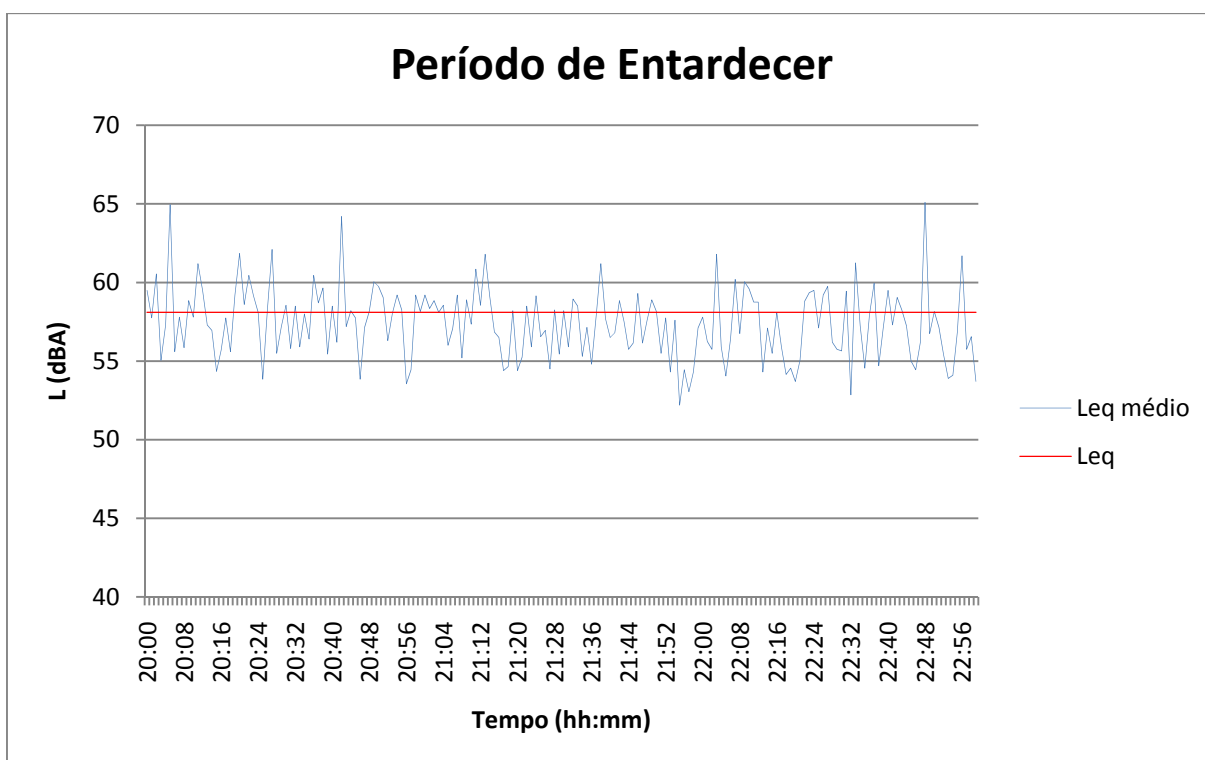
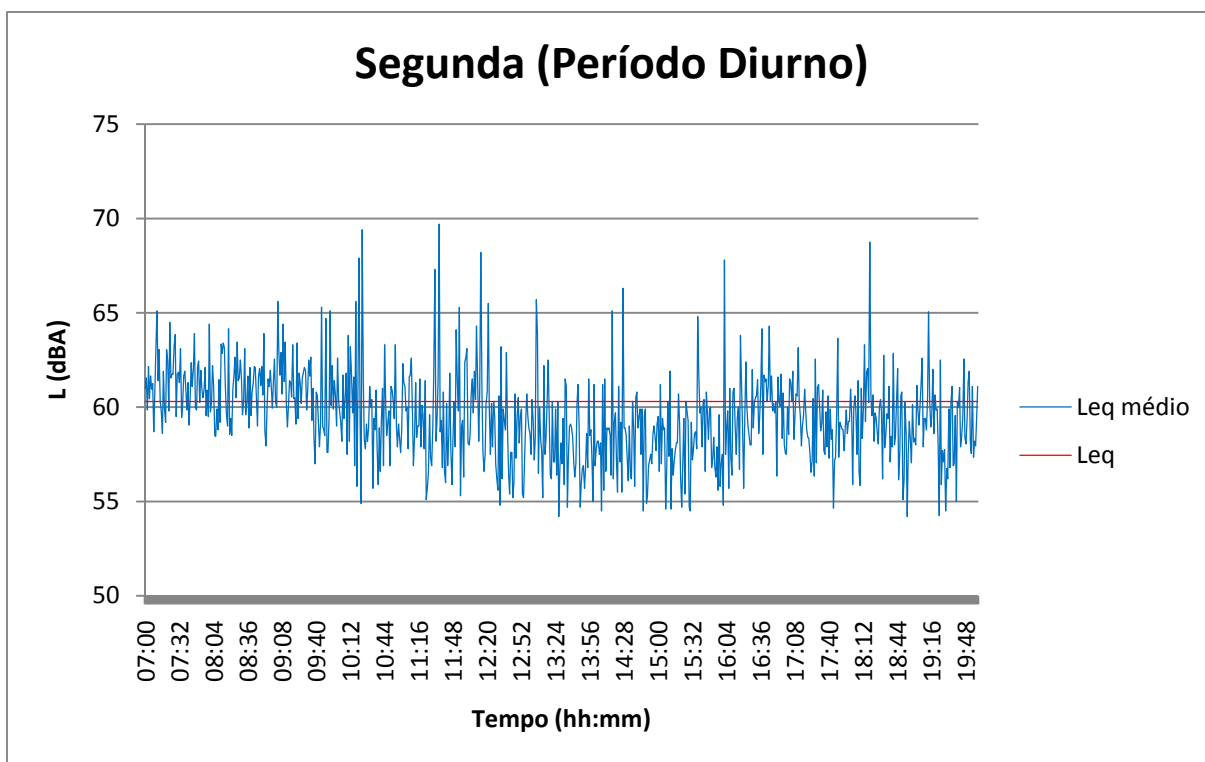


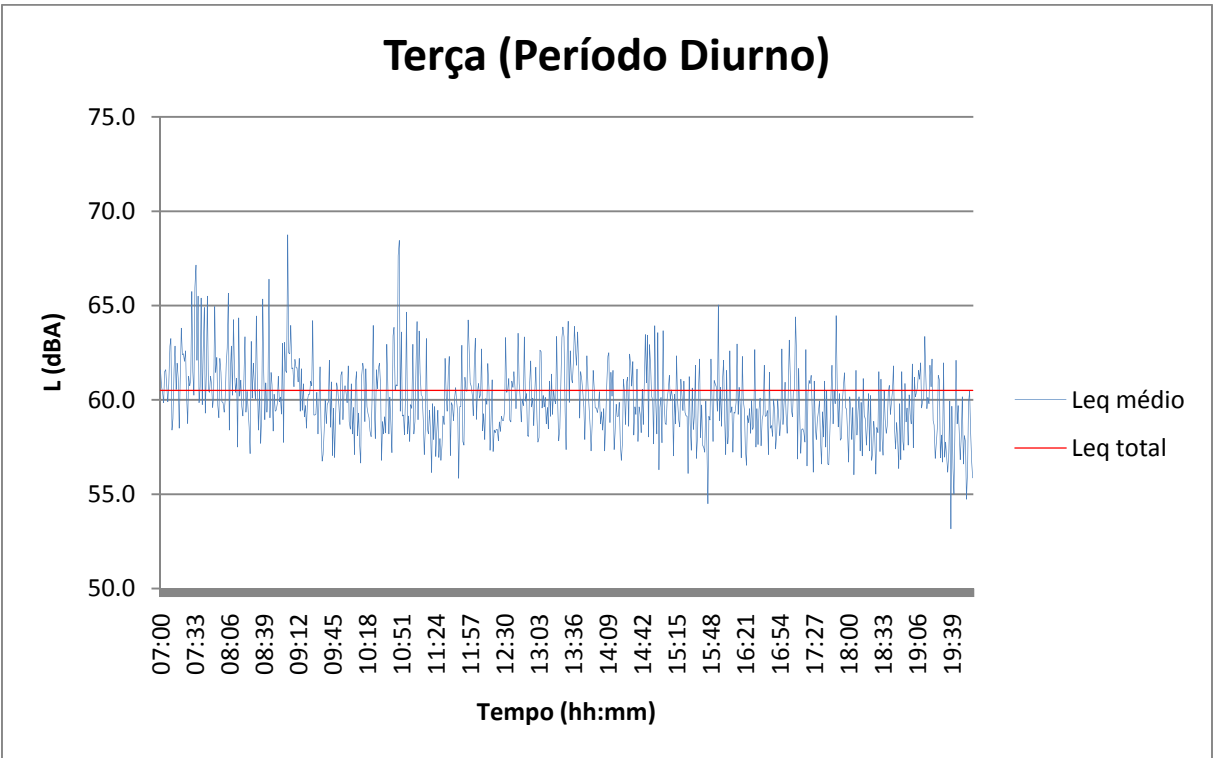
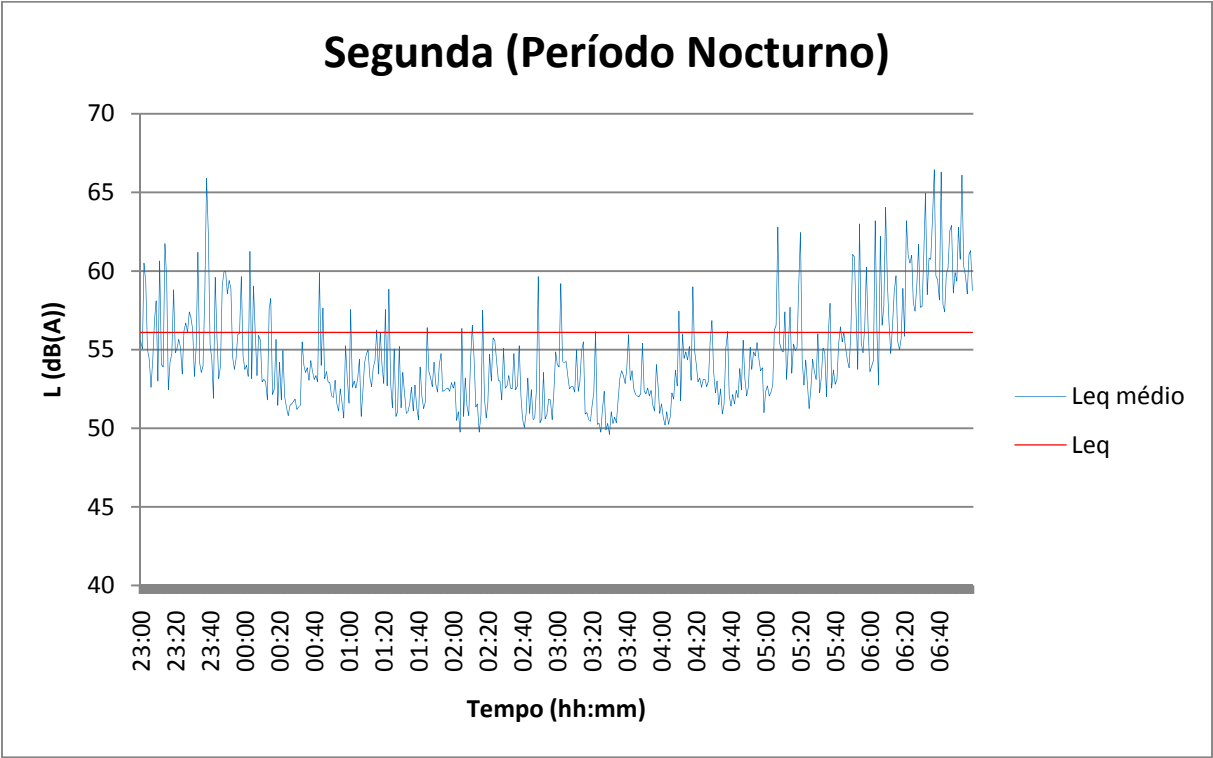




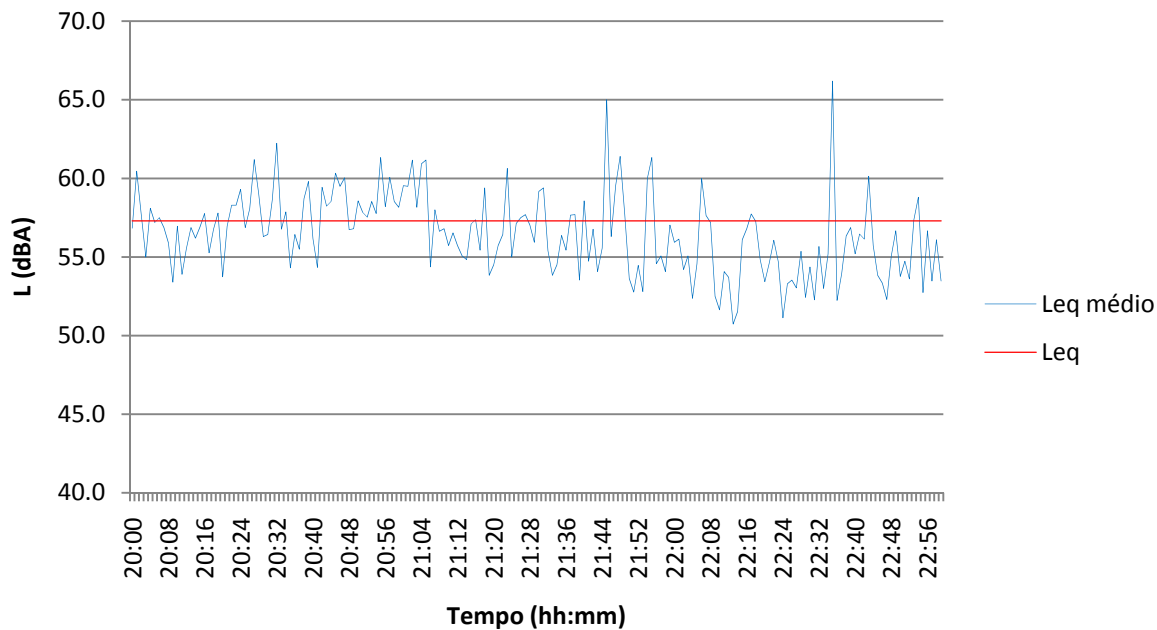
Anexo 2

Representação Gráfica Da Média dos Resultados Das Medições Contínuas

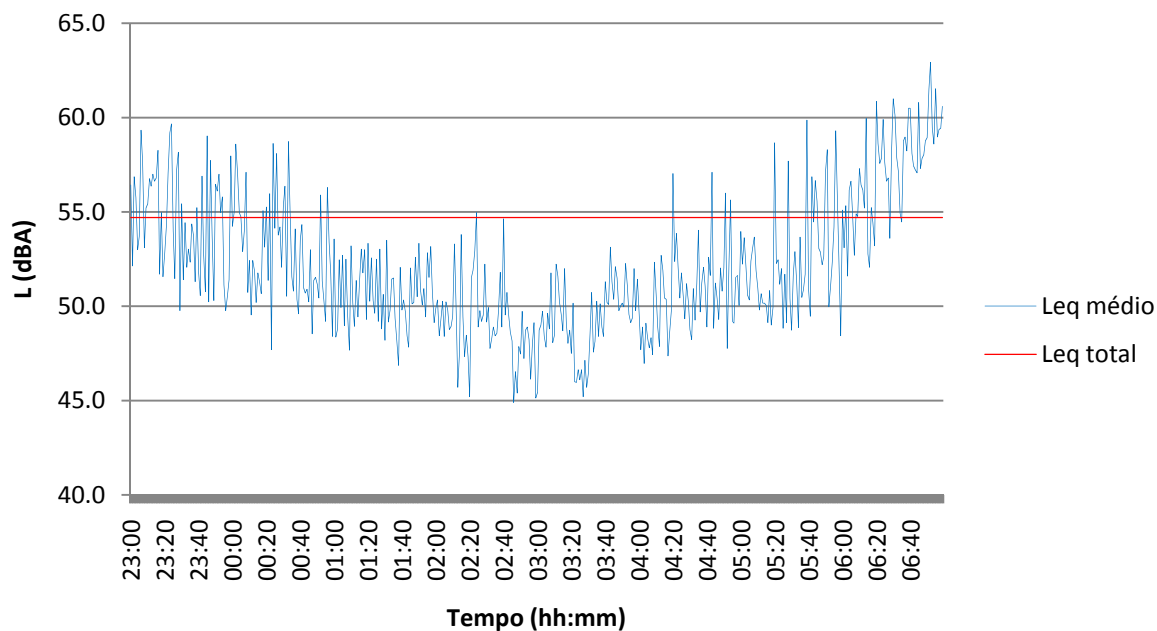




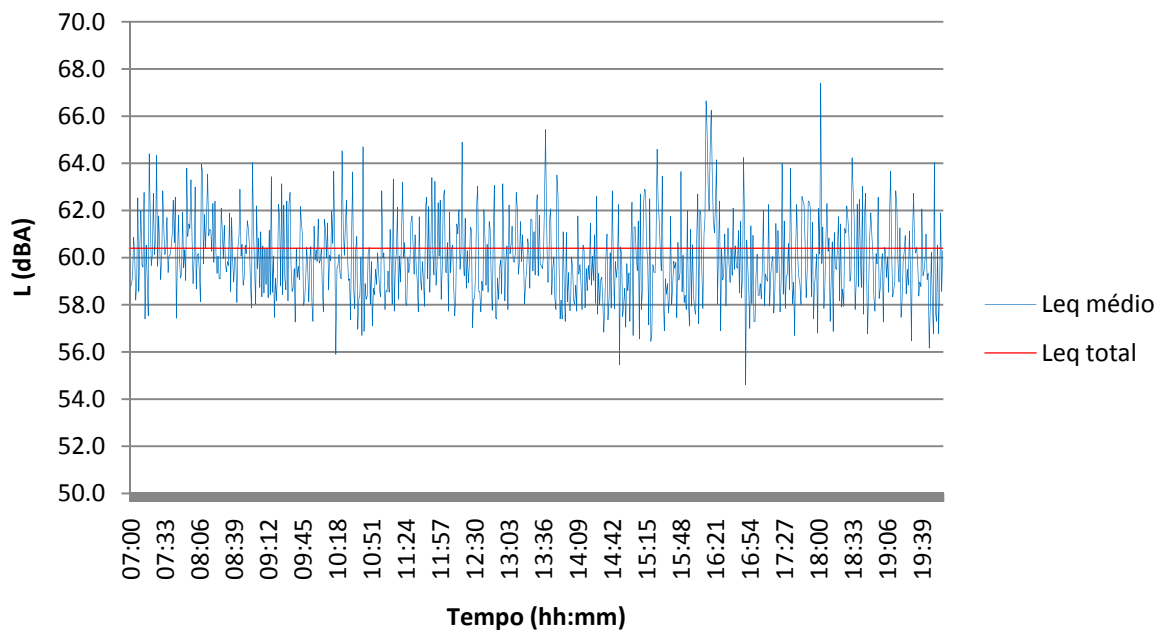
Terça (Período de Entardecer)



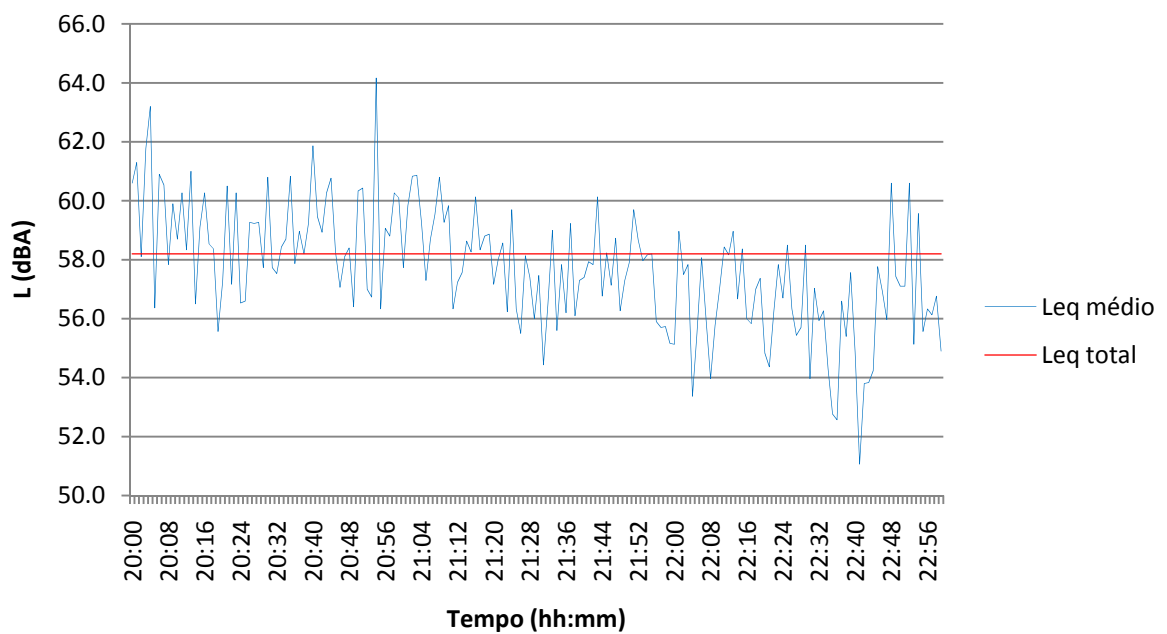
Terça (Período Nocturno)

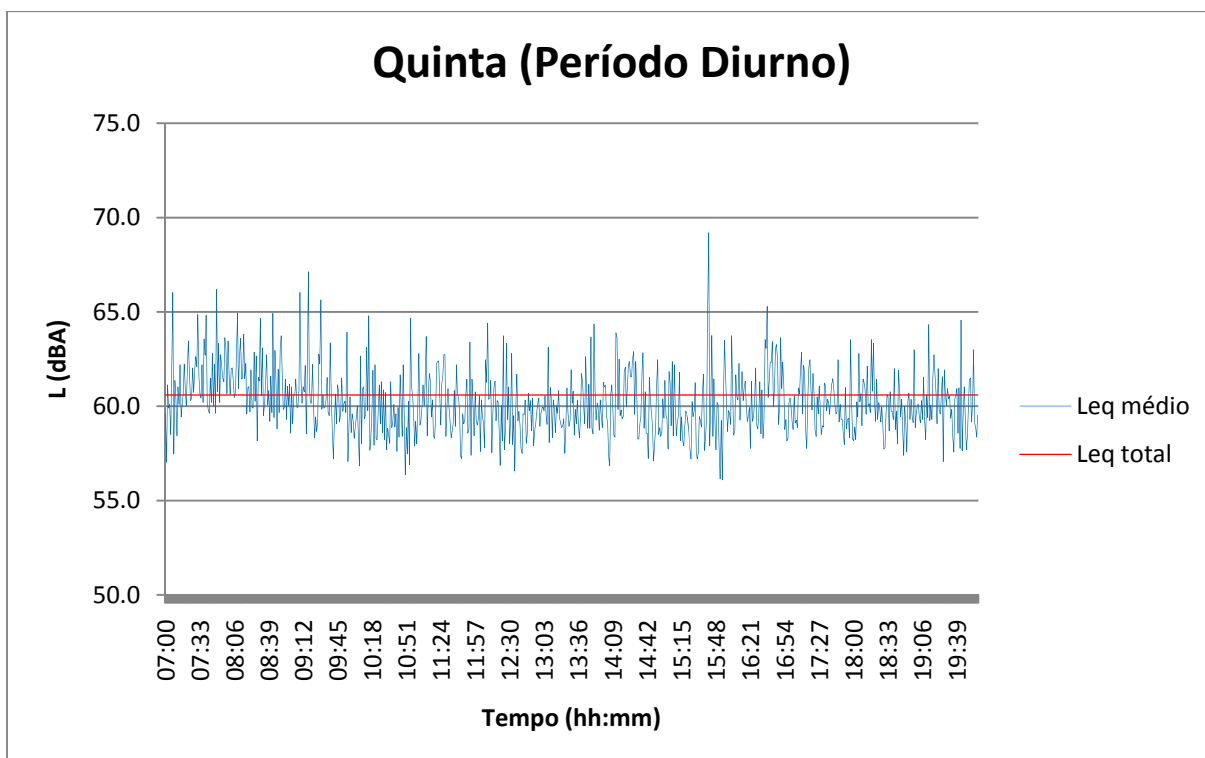
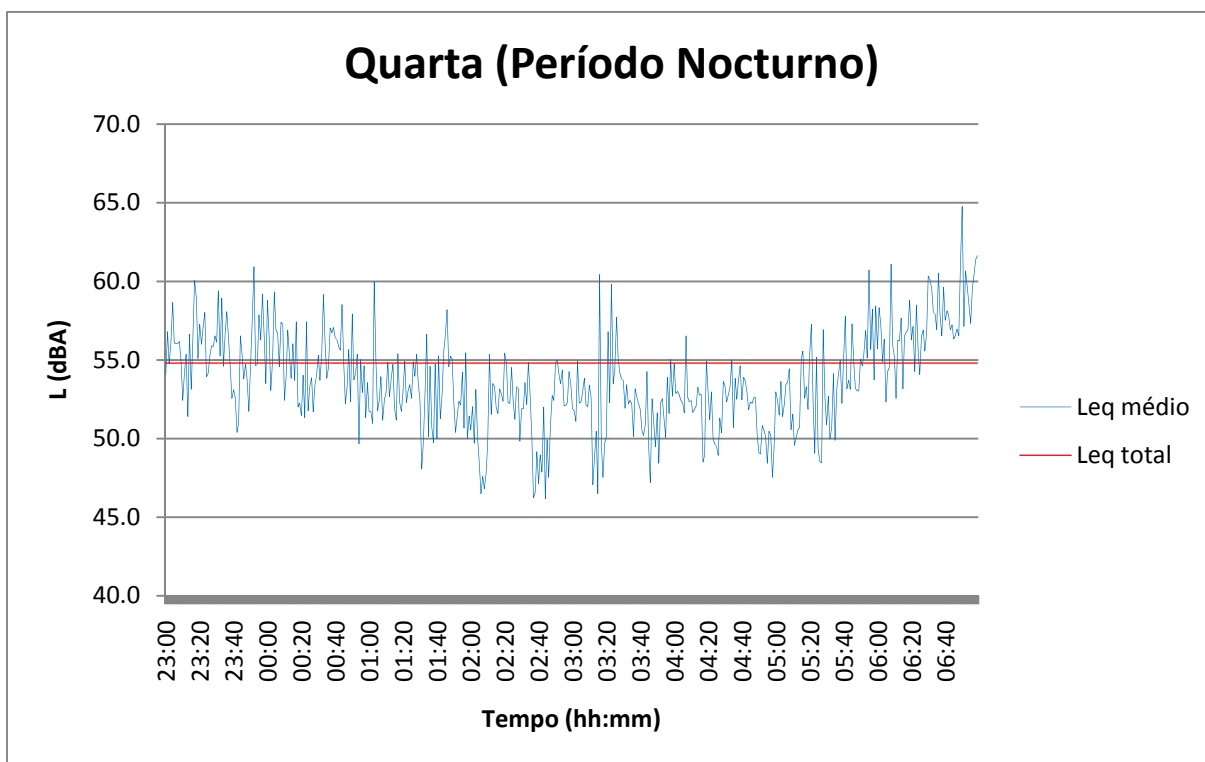


Quarta (Período Diurno)

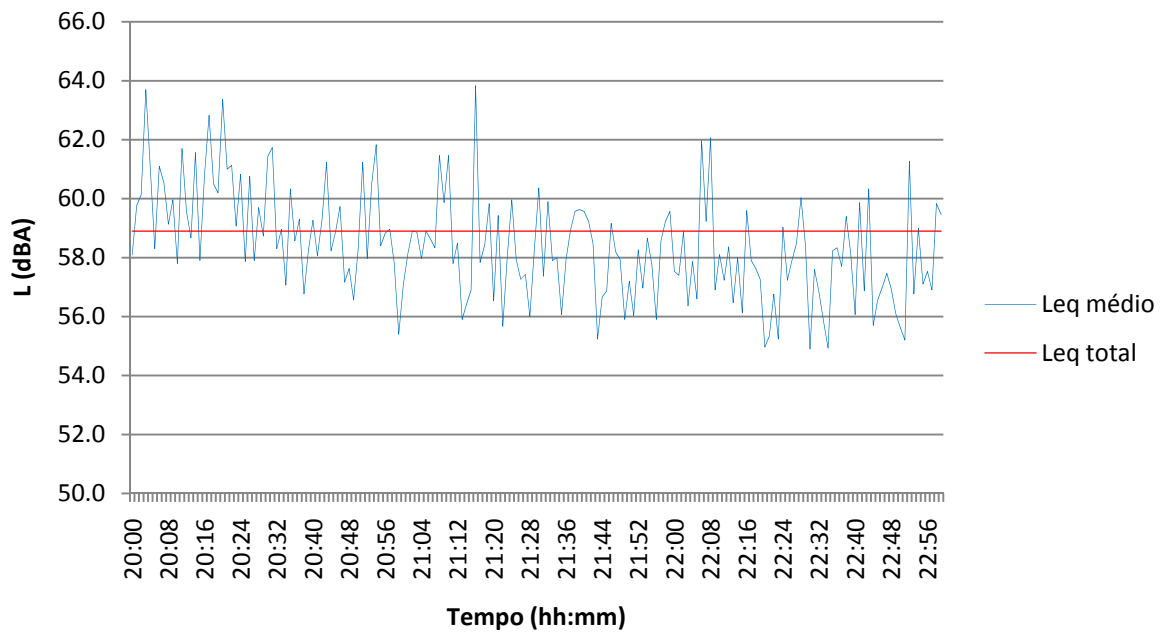


Quarta (Período Entardecer)

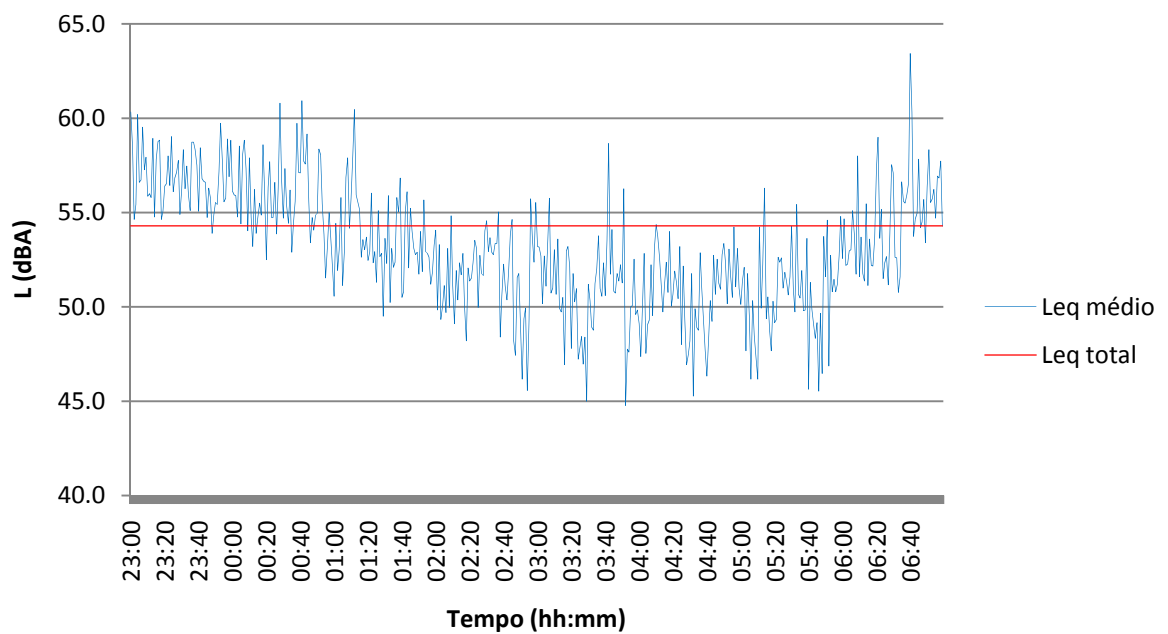




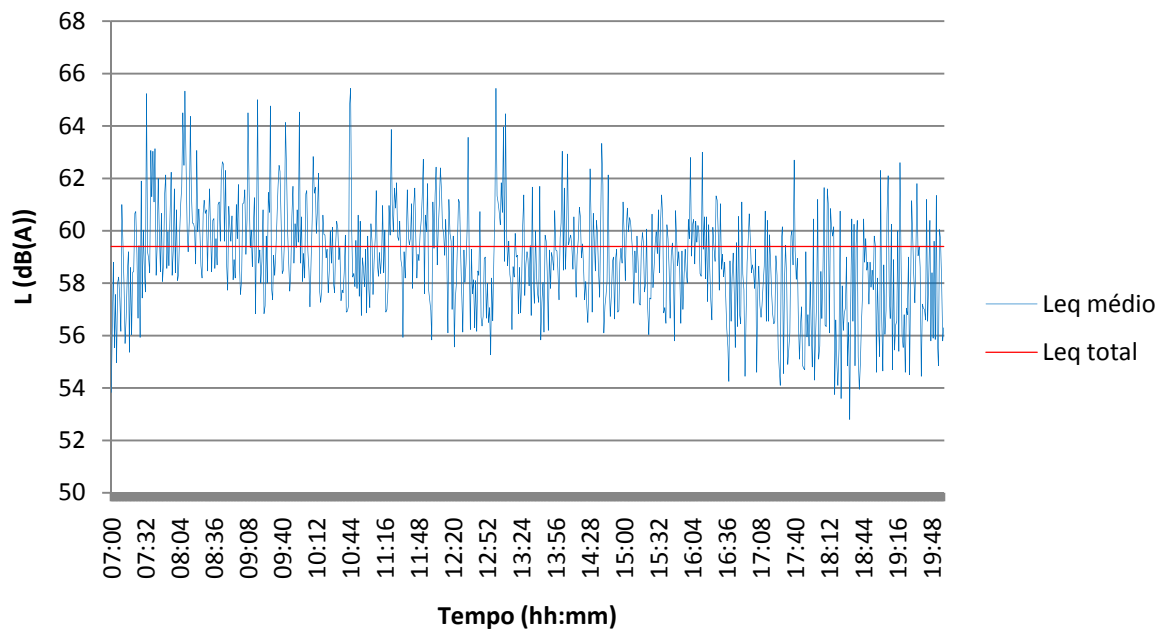
Quinta (Período de Entardecer)



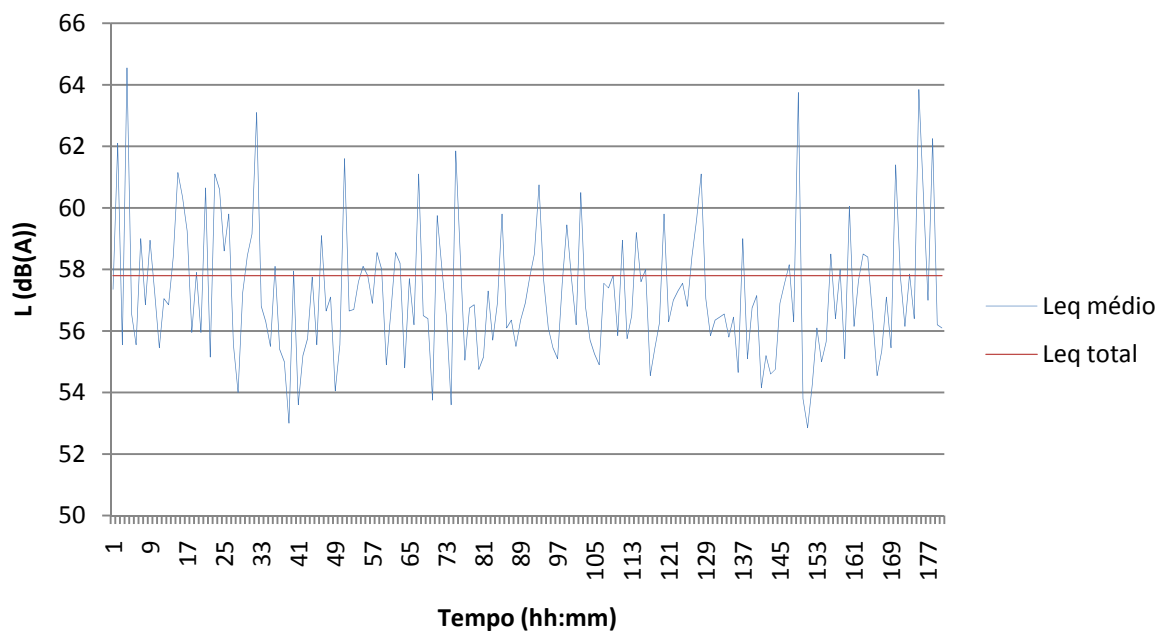
Quinta (Período Nocturno)

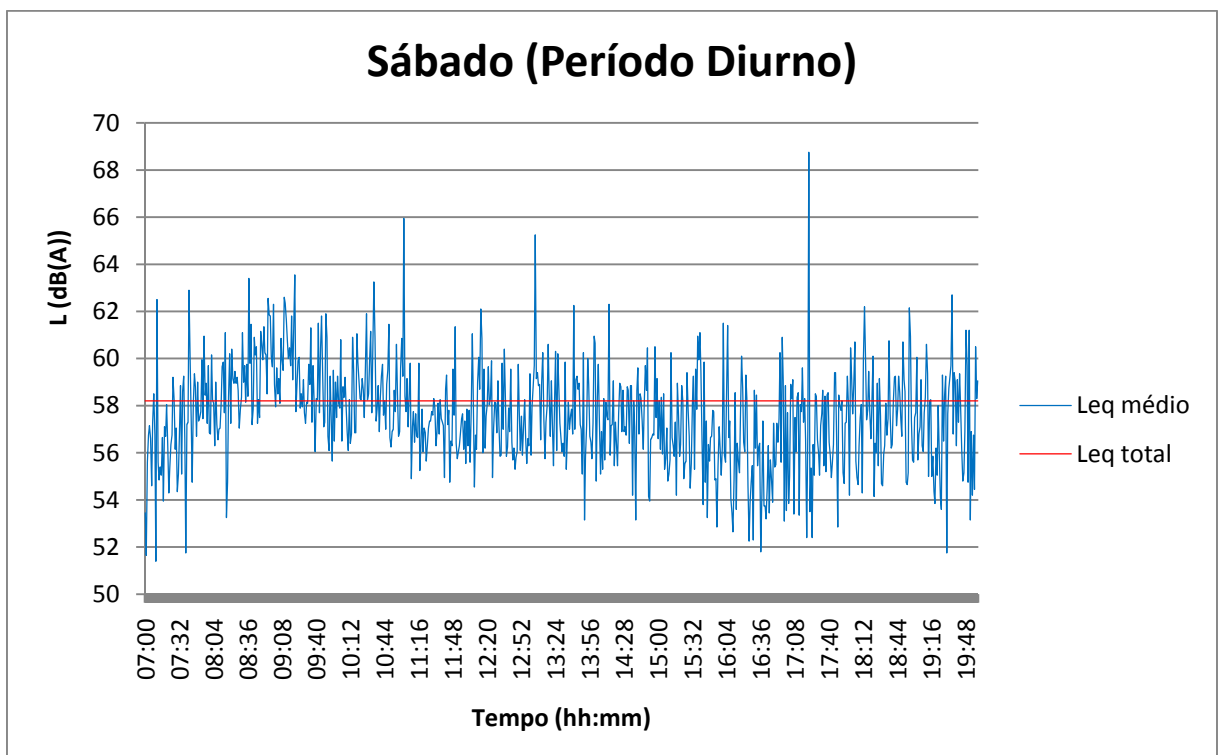
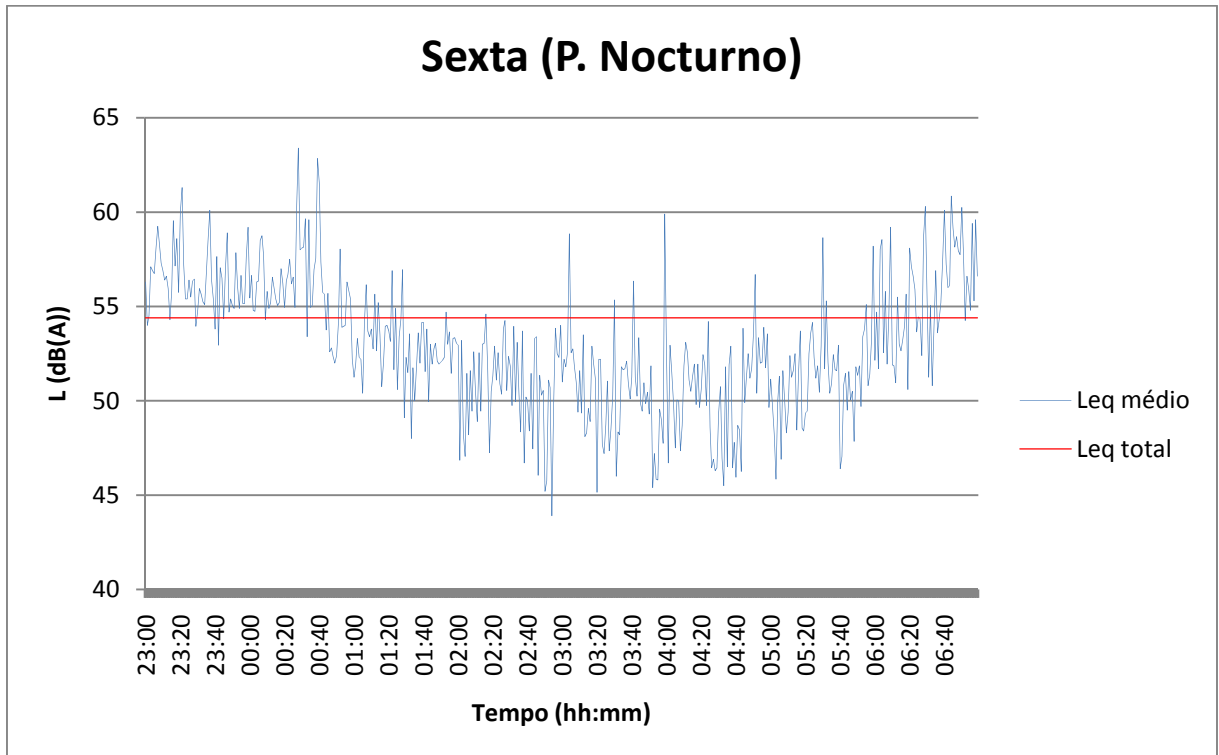


Sexta (Período Diurno)

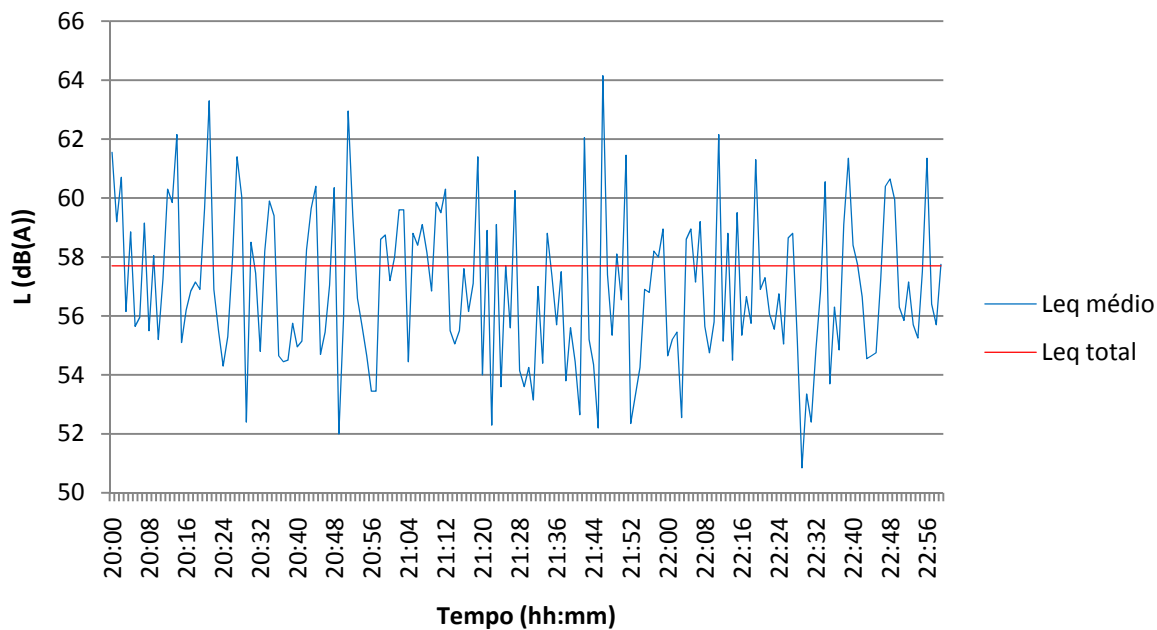


Sexta (P. Entardecer)

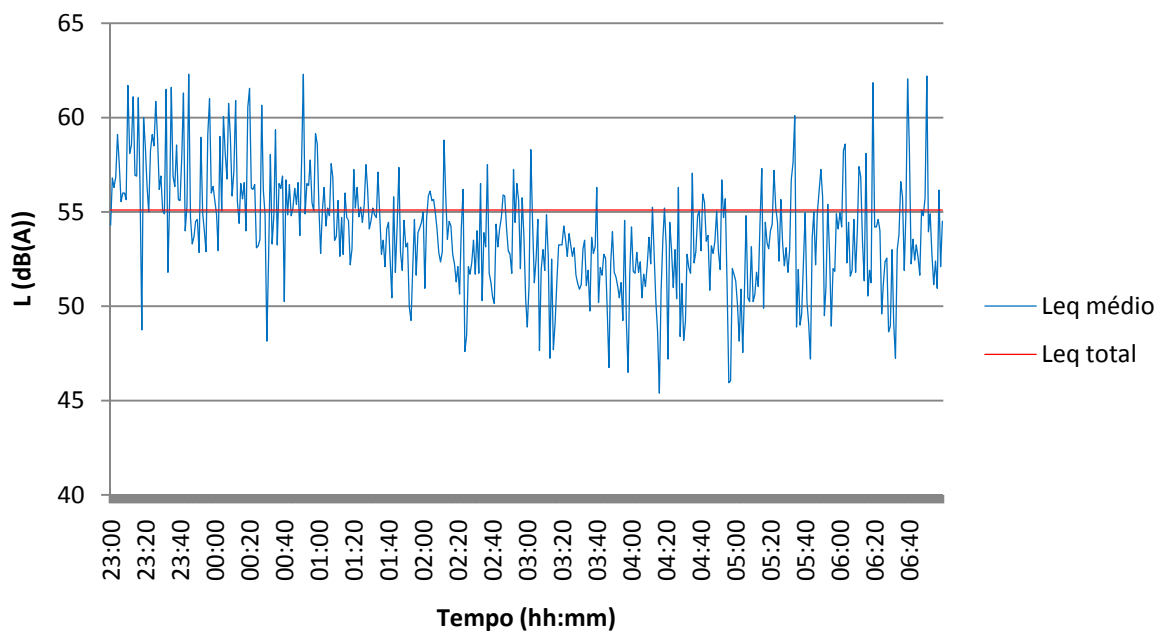


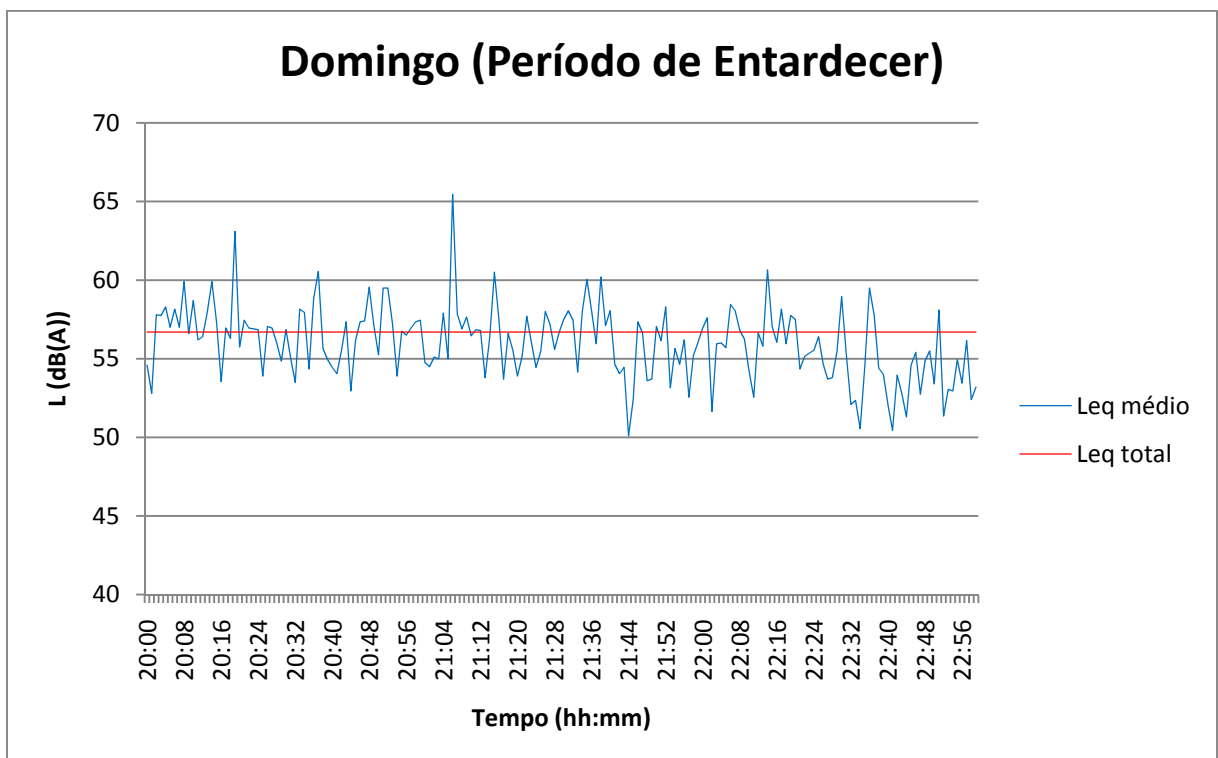
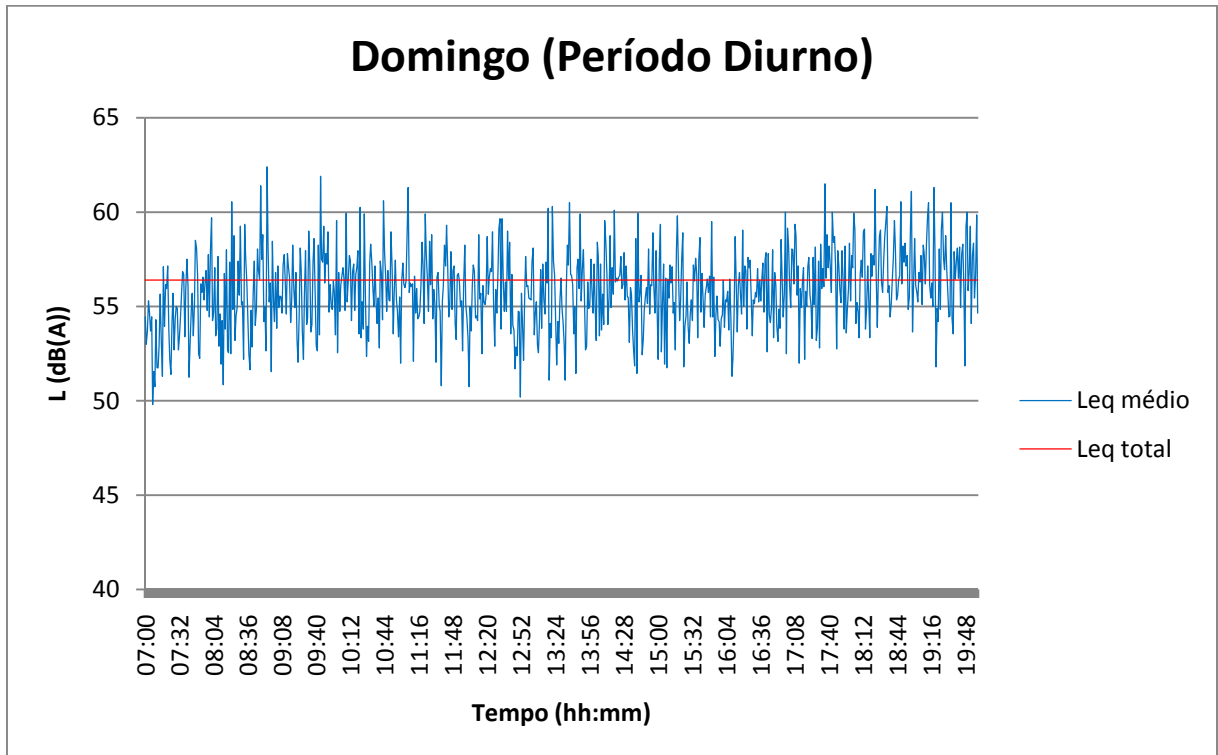


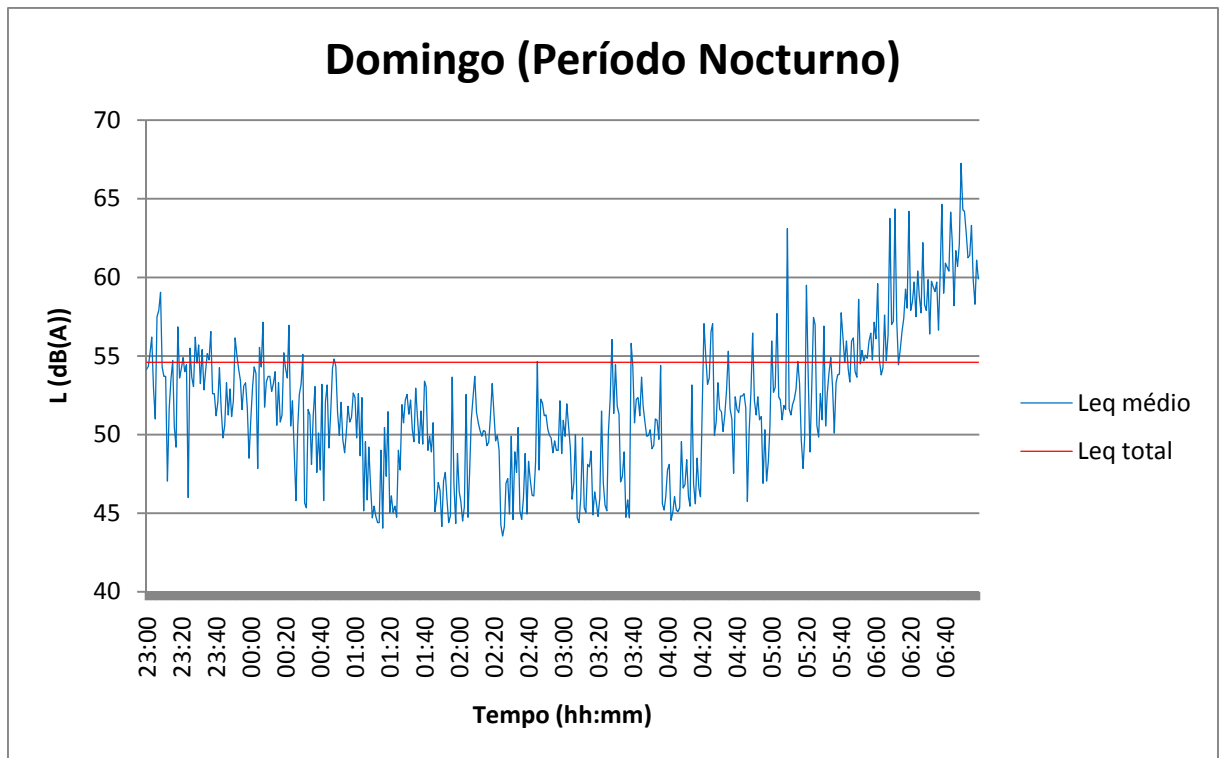
Sábado (Período de Entardecer)



Sábado (Período Nocturno)







Anexo 3

Dados Retirados Obtidos

Nas Medições Pontuais

	22-Mai	21-Mai	20-Mai	19-Mai	18-Mai	18-Mai
tempo (hh:mm)	Nível de Pressão Sonora (dB(A))					
00:30	68,3	65,3	59,0	61,6	64,1	51,8
00:31	61,2	73,8	62,2	62,0	60,7	61,3
00:32	64,0	66,5	67,9	64,2	65,7	63,6
00:33	60,3	69,2	60,4	63,0	63,2	66,9
00:34	62,9	66,5	65,5	60,3	64,9	64,6
00:35	63,2	61,3	64,6	66,7	62,2	64,5
00:36	62,7	60,6	48,8	57,8	64,4	65,9
00:37	63,6	65,7	65,9	66,7	59,6	64,1
00:38	60,8	68,5	64,7	65,4	62,8	63,4
00:39	66,5	64,8	63,3	62,5	65,0	62,8
00:40	58,4	68,7	61,3	64,1	63,6	63,5
00:41	59,4	66,5	59,1	67,0	64,0	63,8
00:42	63,0	70,6	49,8	69,5	59,6	63,5
00:43	60,5	65,5	57,1	64,2	67,5	67,2
00:44	61,9	68,2	58,3	66,0	61,0	64,7
00:45	62,9	67,1	61,6	64,3	64,7	51,5
00:46	64,1	63,9	64,6	66,1	62,9	63,5
00:47	63,8	62,8	47,3	63,1	67,6	62,0
00:48	62,8	64,2	57,5	62,6	66,8	65,0
00:49	65,9	62,7	58,6	57,7	62,6	61,8
00:50	60,1	65,5	61,5	61,0	65,2	63,2
00:51	62,6	62,7	62,4	64,9	63,8	62,9
00:52	64,2	68,6	64,8	60,6	64,2	61,2
00:53	66,5	65,2	60,3	60,3	65,6	67,6
00:54	62,6	63,0	63,2	64,0	63,1	66,0
00:55	63,5	62,9	59,6	65,8	65,4	63,7
00:56	63,9	69,1	64,7	67,6	66,1	59,4
00:57	62,4	66,5	62,9	63,2	63,5	63,7
00:58	60,5	67,7	56,2	65,2	64,5	67,6
00:59	61,0	69,2	60,2	64,5	67,2	66,7
01:00	57,9	64,5	61,0	65,5	63,1	59,4
01:01	61,0	68,8	61,3	67,6	55,1	66,5
01:02	63,0	62,5	62,2	65,3	62,9	61,1
01:03	61,6	67,0	58,7	64,3	57,3	60,3
01:04	56,8	67,5	59,8	62,2	70,0	64,3
01:05	58,0	70,2	57,9	64,3	61,8	63,7
01:06	59,1	68,9	57,8	59,1	63,6	64,1
01:07	60,2	63,9	66,8	61,7	60,8	63,4
01:08	61,4	69,4	63,9	63,5	59,8	65,9

01:09	64,1	62,1	64,4	63,0	63,2	63,8
01:10	63,9	63,5	65,5	63,1	63,6	65,7
01:11	68,5	58,9	57,6	60,1	63,1	63,5
01:12	67,1	58,6	55,4	62,2	61,1	65,0
01:13	61,8	57,7	63,6	60,1	62,5	65,0
01:14	63,0	60,1	59,3	60,7	61,5	65,7
01:15	62,4	61,1	62,3	64,0	62,0	66,1
01:16	62,6	64,4	67,3	63,6	61,7	64,7
01:17	61,3	61,8	60,6	60,3	60,5	65,8
01:18	61,8	61,6	63,8	65,8	63,6	64,7
01:19	59,9	63,2	61,8	66,1	66,3	65,1
01:20	63,4	64,9	64,0	50,7	61,9	65,5
01:21	63,6	62,6	60,3	57,9	64,3	53,3
01:22	61,5	60,2	60,5	65,0	62,7	63,9
01:23	60,1	58,7	64,1	67,1	59,2	62,1
01:24	59,8	58,3	62,6	63,4	64,0	61,4
01:25	60,3	58,4	63,4	62,8	62,7	64,4
01:26	60,4	56,4	62,0	65,8	60,8	63,3
01:27	64,2	61,5	65,2	64,5	62,0	62,3
01:28	65,7	62,6	58,0	64,7	59,0	61,3
01:29	65,2	60,1	64,7	67,0	64,7	65,5

Tempo (hh:mm)	22-Mai	21-Mai	20-Mai	19-Mai	18-Mai
	Nível de Pressão Sonora (dB(A))				
14:00	69,4	65,8	63,7	64,1	61,8
14:01	65,8	64,7	62,2	60,7	63,2
14:02	67	65,1	57,4	65,7	62,9
14:03	67,3	65,5	64,4	63,2	61,2
14:04	67,5	67,9	62,0	64,9	67,6
14:05	68,3	68,6	65,4	62,2	66
14:06	67	71,5	63,8	64,4	63,7
14:07	68,6	67,4	63,9	59,6	59,4
14:08	68,8	66,4	65,0	62,8	63,7
14:09	66,2	65,3	63,7	65	67,6
14:10	66,2	65,4	50,4	63,6	66,7
14:11	66,5	61,3	60,5	64	59,4
14:12	66,4	65,5	63,1	59,6	66,5
14:13	66,4	66,1	65,0	67,5	61,1
14:14	66,1	63,7	59,2	61	60,3
14:15	67,1	61,0	62,2	64,7	64,3
14:16	66,5	65,9	60,1	62,9	63,7
14:17	66,4	61,8	71,6	67,6	64,1
14:18	65,7	65,7	69,8	66,8	63,4
14:19	77,5	65,3	59,4	62,6	65,9
14:20	69,5	67,0	63,5	65,2	63,8
14:21	67,4	69,2	54,2	63,8	65,7
14:22	66,7	67,6	62,2	64,2	63,5
14:23	64,8	66,4	61,9	65,6	65
14:24	65,5	64,3	60,1	63,1	65
14:25	68,6	66,6	64,9	65,4	65,7
14:26	65,8	63,3	67,7	66,1	66,1
14:27	65,6	64,4	59,6	63,5	64,7
14:28	68,2	60,1	62,8	64,5	65,8
14:29	67,3	62,9	64,0	67,2	64,7
14:30	68,8	63,6	64,6	63,1	65,1
14:31	64,9	63,2	61,0	55,1	65,5
14:32	70,6	61,8	62,7	62,9	53,3
14:33	68	65,0	66,8	57,3	63,9
14:34	66,4	66,6	63,1	70	62,1
14:35	71,9	63,2	68,3	61,8	61,4
14:36	69	60,5	61,6	63,6	64,4
14:37	68,6	61,8	60,4	60,8	63,3
14:38	70,9	63,9	64,2	59,8	65,4

14:39	66,8	64,7	67,1	63,2	61,3
14:40	67,7	63,0	64,4	63,6	65,5
14:41	68,5	63,3	65,3	63,1	66,1
14:42	67,1	64,6	63,4	61,1	63,7
14:43	66,9	64,2	63,5	62,5	61
14:44	67,5	62,9	68,1	61,5	65,9
14:45	66,4	66,3	63,3	62	61,8
14:46	67,1	62,9	62,4	61,7	65,7
14:47	67,7	63,2	64,0	60,5	65,3
14:48	65,7	61,5	63,0	63,6	67
14:49	68	65,0	59,1	66,3	63
14:50	68,2	64,2	66,0	61,9	63,6
14:51	69,9	62,6	62,4	64,3	61,4
14:52	69,4	64,6	63,2	62,7	64,3
14:53	67,1	63,9	63,0	59,2	66,6
14:54	66,2	65,6	65,0	64	63,3
14:55	66,2	61,5	67,4	62,7	64,4
14:56	67,2	66,0	65,3	60,8	60,1
14:57	67,3	64,7	64,9	62	62,9
14:58	67,3	65,1	65,4	59	63,6
14:59	65,5	63,8	66,4	64,7	63,2

	22-Mai	21-Mai	20-Mai	19-Mai	18-Mai
Tempo (hh:mm)	Nível de Pressão Sonora (dB(A))				
17:30	66,9	69,3	68,1	71,0	68,7
17:31	65,6	70,6	68,1	69,6	68,2
17:32	68,6	68,7	68,6	73,1	67,2
17:33	64,0	73,8	68,9	68,6	68,7
17:34	67,4	69,9	68,7	68,5	68,6
17:35	68,2	68,1	68,1	69,9	68
17:36	70,1	69,0	69,5	70,8	67,4
17:37	70,5	66,7	68,6	71,5	66,5
17:38	71,7	70,5	71,1	72,9	65,3
17:39	68,7	72,3	70,5	74,9	65,2
17:40	66,0	70,0	68,0	72,4	65,8
17:41	67,4	69,2	68,3	70,3	66,4
17:42	68,4	68,9	68,7	69,1	67,2
17:43	65,8	68,0	66,9	71,1	67,6
17:44	69,5	72,6	71,1	67,8	70,2
17:45	68,6	72,4	70,5	70,4	69,3
17:46	68,9	72,3	70,6	68,7	66,8
17:47	71,5	70,5	71,0	69,9	67,2
17:48	75,5	68,3	71,9	70,2	67,6
17:49	77,4	69,5	73,5	69,6	68,9
17:50	75,2	72,4	73,8	68,8	73
17:51	76,3	72,4	74,3	67,2	73,7
17:52	74,5	72,1	73,3	72,8	68,9
17:53	73,1	68,4	70,7	66,4	66,3
17:54	74,8	71,5	73,2	68,7	66,2
17:55	73,7	67,4	70,6	68,1	66,9
17:56	72,5	68,8	70,7	68,6	66,8
17:57	72,8	69,4	71,1	71,9	67,1
17:58	70,4	70,2	70,3	67,7	66,9
17:59	69,4	66,8	68,1	67,9	68,7
18:00	70,2	72,1	71,2	68,0	70,9
18:01	71,2	70,2	70,7	72,3	70,2
18:02	72,7	77,4	75,1	67,1	68,1
18:03	73,1	69,8	71,4	69,6	66,6
18:04	72,8	71,3	72,1	70,5	65,6
18:05	71,5	67,9	69,7	70,7	65,6
18:06	72,4	68,8	70,6	68,7	65,1
18:07	73,9	70,9	72,4	71,7	65,5
18:08	73,0	72,3	72,7	67,1	66,4

18:09	72,5	70,3	71,4	68,7	66,2
18:10	71,9	70,8	71,4	70,4	66,1
18:11	72,3	67,3	69,8	70,9	65,9
18:12	72,7	68,9	70,8	69,4	66,5
18:13	68,9	70,7	69,8	71,1	66
18:14	70,0	66,9	68,4	69,3	66
18:15	70,0	71,1	70,5	69,4	65,5
18:16	69,7	69,6	69,7	70,5	65,3
18:17	66,4	69,5	68,0	69,6	66,3
18:18	67,1	70,3	68,7	73,6	67,7
18:19	68,4	71,7	70,1	69,9	67,9
18:20	66,2	68,2	67,2	69,3	67,8
18:21	74,1	71,4	72,8	69,0	68,1
18:22	70,2	67,9	69,1	70,2	69,7
18:23	67,4	68,7	68,0	68,5	71,3
18:24	66,6	67,9	67,3	68,8	70,7
18:25	65,9	71,2	68,6	69,1	70,2
18:26	67,1	71,0	69,1	69,3	72,3
18:27	72,1	72,2	72,2	72,2	69
18:28	65,2	71,6	68,4	70,0	70,2
18:29	64,3	71,0	67,6	69,0	67,0

Anexo 4

Contagem de Tráfego

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	00:30	Data da Contagem	18/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	0	
		Automóveis ligeiros	305	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		3	
	Autocarros		4	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura -9.9°C
 Vento: 9.8 km/h
 HR: 59,7%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	14:00	Data da Contagem	18/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	14	
		Automóveis ligeiros	1567	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		7	
	Autocarros		59	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 17.6 °C Vento: 9,3 km/h HR: 58,4%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	17:30	Data da Contagem	18/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	14	
		Automóveis ligeiros	1617	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		12	
	Autocarros		65	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura - 15.6 °C
 Vento: 9,3 km/h
 HR: 58,4%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	00:30	Data da Contagem	19/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	0	
		Automóveis ligeiros	299	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		3	
	Autocarros		4	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 10,0°C Vento: 8,2 km/h HR: 55,2%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	14:00	Data da Contagem	19/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	12	
		Automóveis ligeiros	1701	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		10	
	Autocarros		58	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura - 17,2°C
 Vento: 8,2 km/h
 HR: 55,2%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	17:30	Data da Contagem	19/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	21	
		Automóveis ligeiros	1503	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		14	
	Autocarros		61	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 16,0°C Vento: 8,2 km/h HR: 55,2%

Local	Asprela, FEP
-------	--------------

Tempo de Contagem (mi)	70	Hora de Início da Contagem	00:30	Data da Contagem	20/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	70

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	5	
		Automóveis ligeiros	351	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		4	
	Autocarros		4	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura - 14.5°C
 Vento: 10.8 km/h E
 HR: 64.6%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	14:00	Data da Contagem	20/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	14	
		Automóveis ligeiros	1576	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		7	
	Autocarros		54	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 21,1 °C Vento: 10,3 km/h HR: 60,2%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	17:30	Data da Contagem	20/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	16	
		Automóveis ligeiros	1291	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		9	
	Autocarros		57	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura - 15.1 °C
 Vento: 10,3 km/h
 HR: 60,2%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	00:30	Data da Contagem	21/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	0	
		Automóveis ligeiros	389	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		1	
	Autocarros		4	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 9,2°C Vento: 9.8 km/h HR: 59,7%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	14:00	Data da Contagem	21/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	12	
		Automóveis ligeiros	1346	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		6	
	Autocarros		56	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura - 17.2°C
 Vento: 9.8 km/h
 HR: 59,7%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	17:30	Data da Contagem	21/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	0	
		Automóveis ligeiros	1395	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		8	
	Autocarros		56	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 16,3°C Vento: 9.8 km/h HR: 59,7%

Local	Asprela, FEP
-------	--------------

Tempo de Contagem (mi)	70	Hora de Início da Contagem	00:30	Data da Contagem	22/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	70

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	5	
		Automóveis ligeiros	381	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		4	
	Autocarros		4	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Precipitação: 0mm
 Temperatura - 14.5°C
 Vento: 10.8 km/h E
 HR: 64.6%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	14:00	Data da Contagem	22/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	29	
		Automóveis ligeiros	1656	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		8	
	Autocarros		61	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:
Precipitação: 0mm Temperatura - 17.2°C Vento: 10.8 km/h HR: 61.5%

Local	Asprela, em frente à FEP
-------	--------------------------

Tempo de Contagem (mi)	60	Hora de Início da Contagem	17:30	Data da Contagem	22/05/09
------------------------	----	----------------------------	-------	------------------	----------

Tipo de Pavimento	Cubo de granito	
	Alcatroado	X
	Betão	
	Outro	

Velocidade Máxima Admitida Km/h	50
Velocidade Média Km/h	40

Nº de Faixas	2	Largura Faixa	3	Largura Estrada	6
--------------	---	---------------	---	-----------------	---

Nº de veículos	Ligeiros	Motociclos (+Velocípedes c/ motor)	29	
		Automóveis ligeiros	1678	
		Ligeiros de mercadorias		
	Pesados		9	
	Autocarros		64	

Passeios	C/ passeios	X	Nº	2	Largura	1,5
	S/ passeios					

Observações:

Passou uma ambulância às 18:00 aproximadamente. A partir das 16:40 começou a formar-se trânsito.

Precipitação: 0mm

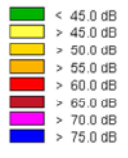
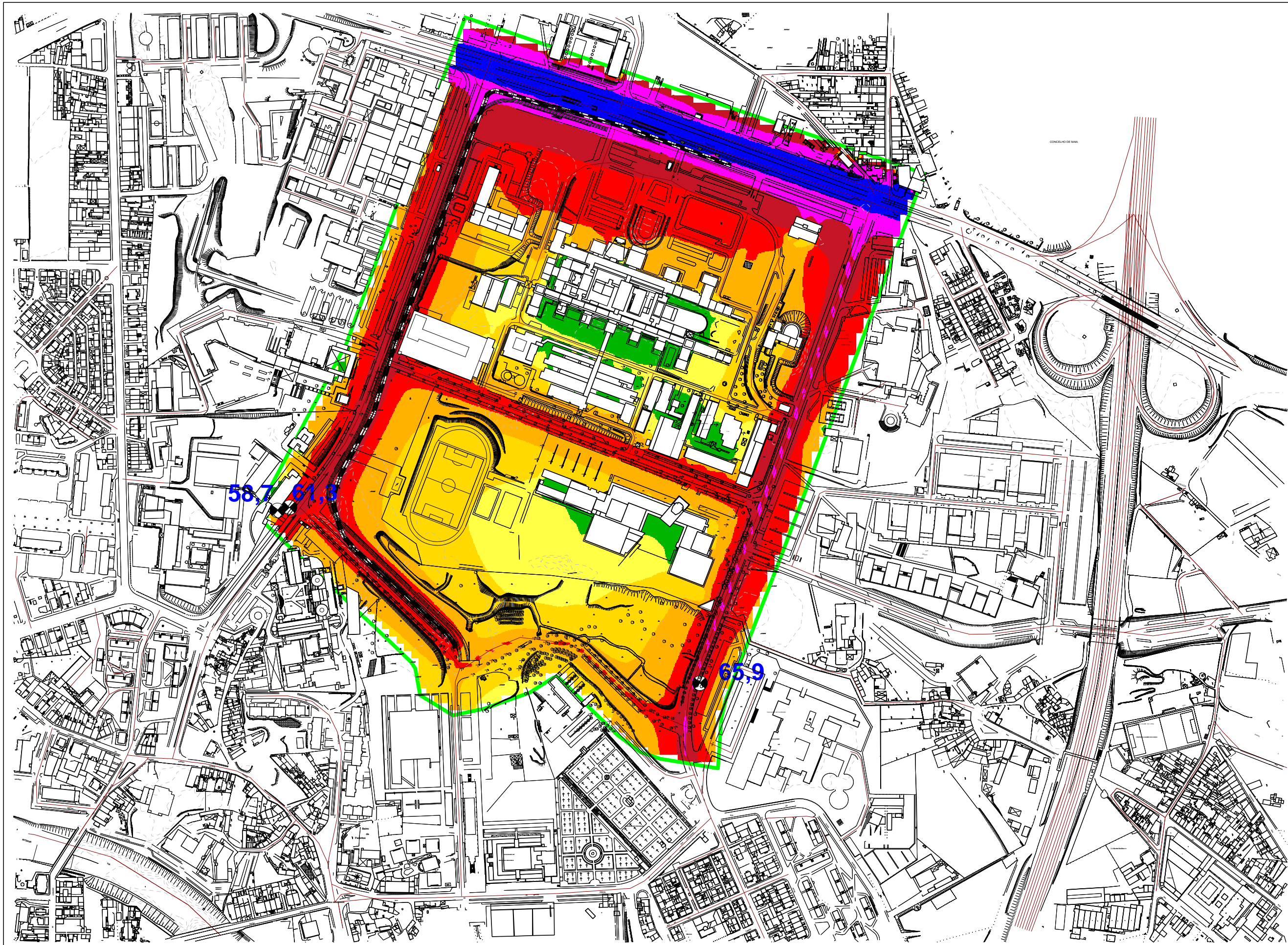
Temperatura - 14.5°C

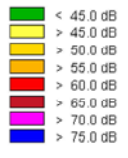
Vento: 10.8 km/h

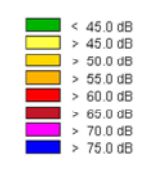
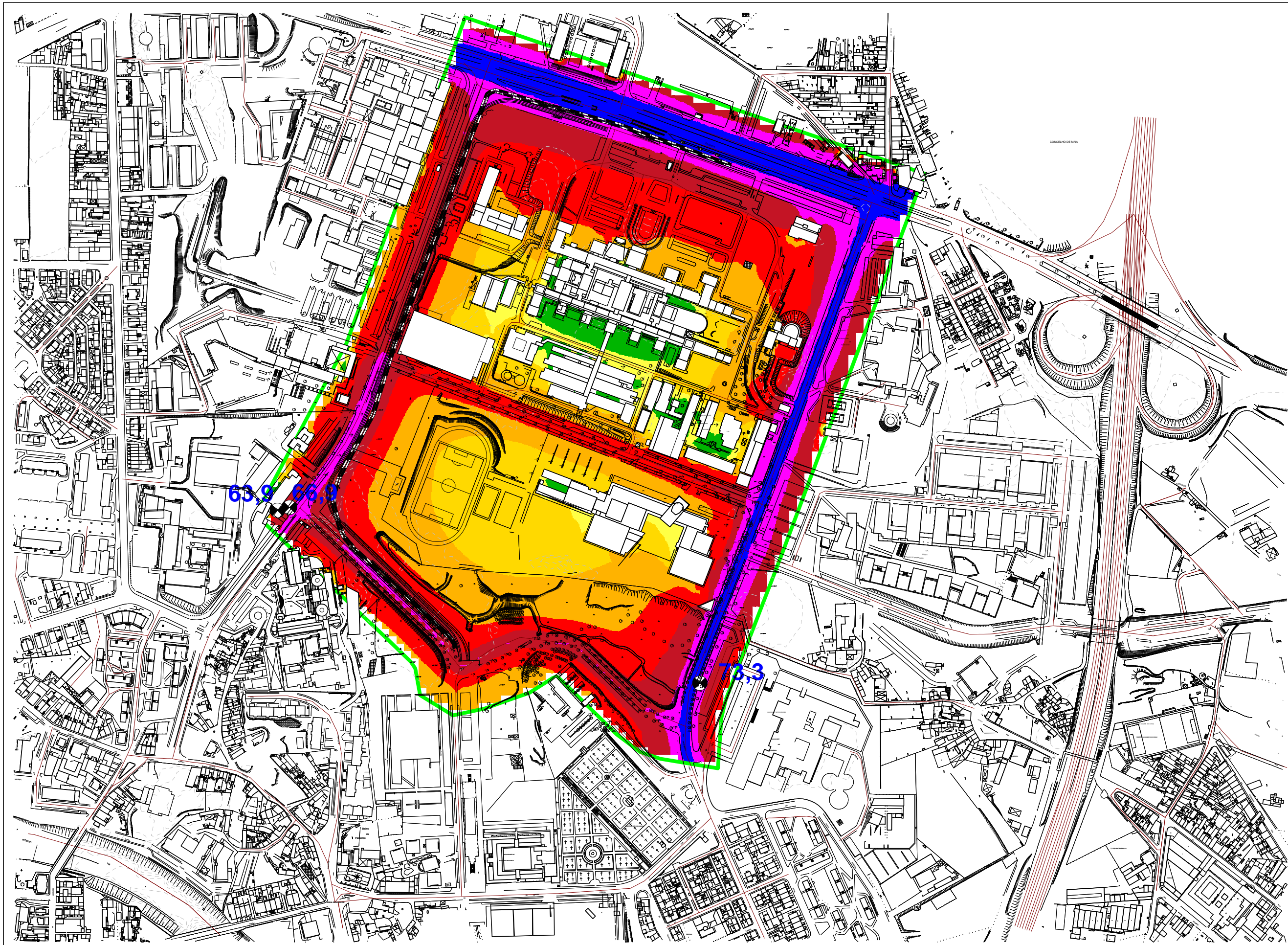
HR: 61.5%

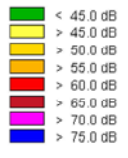
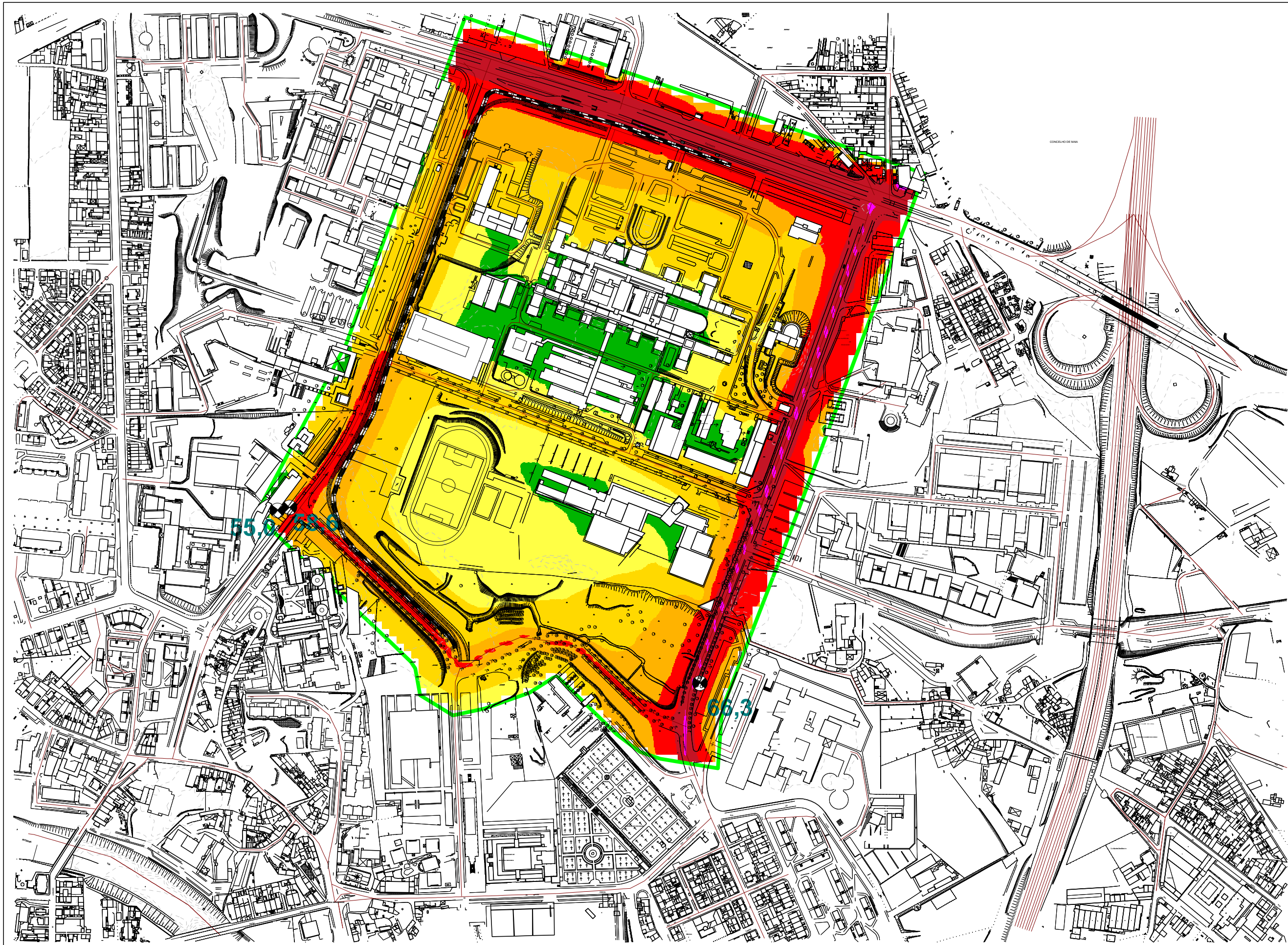
Anexo 5

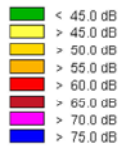
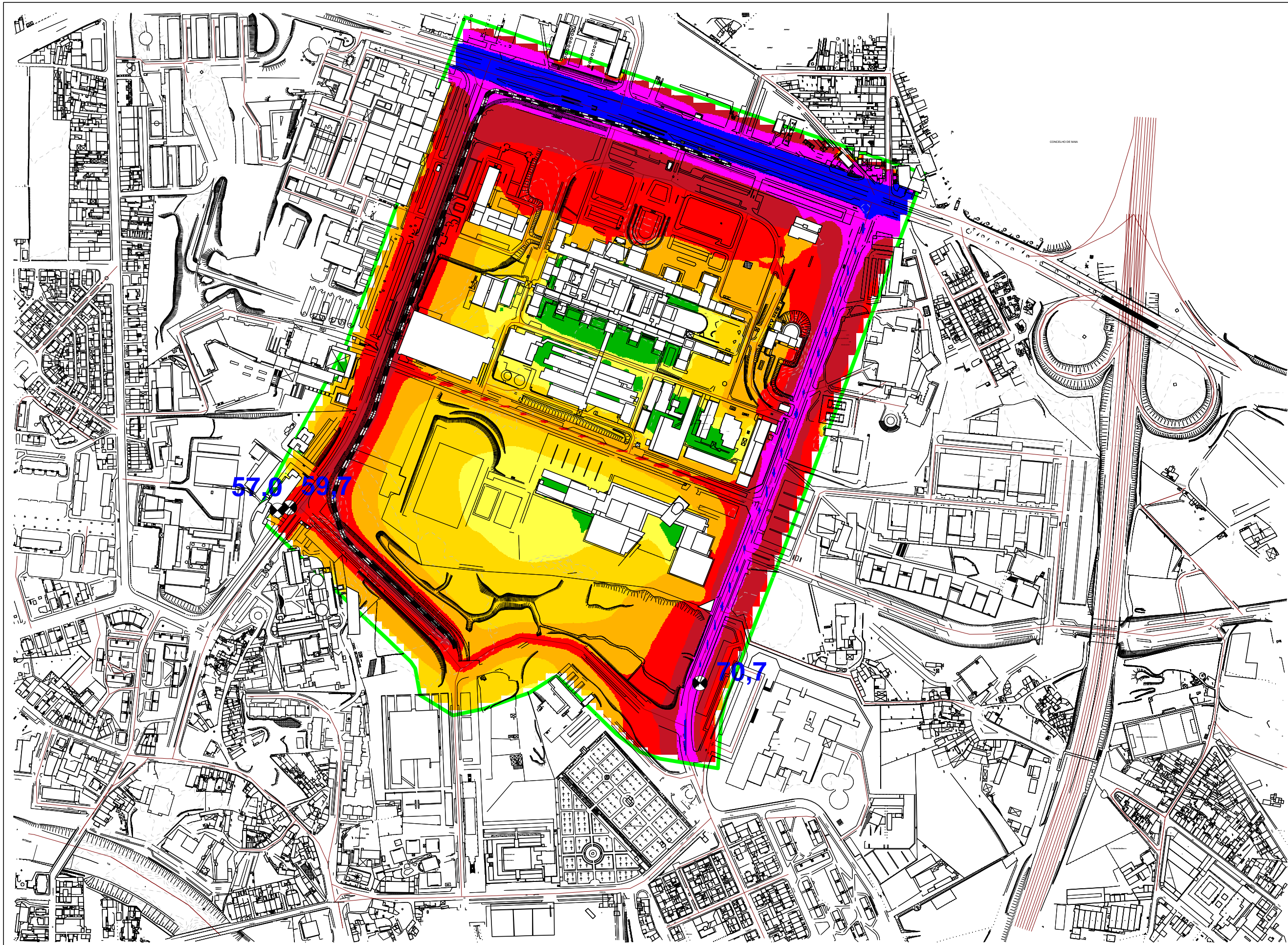
Mapas de Ruído

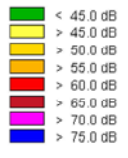
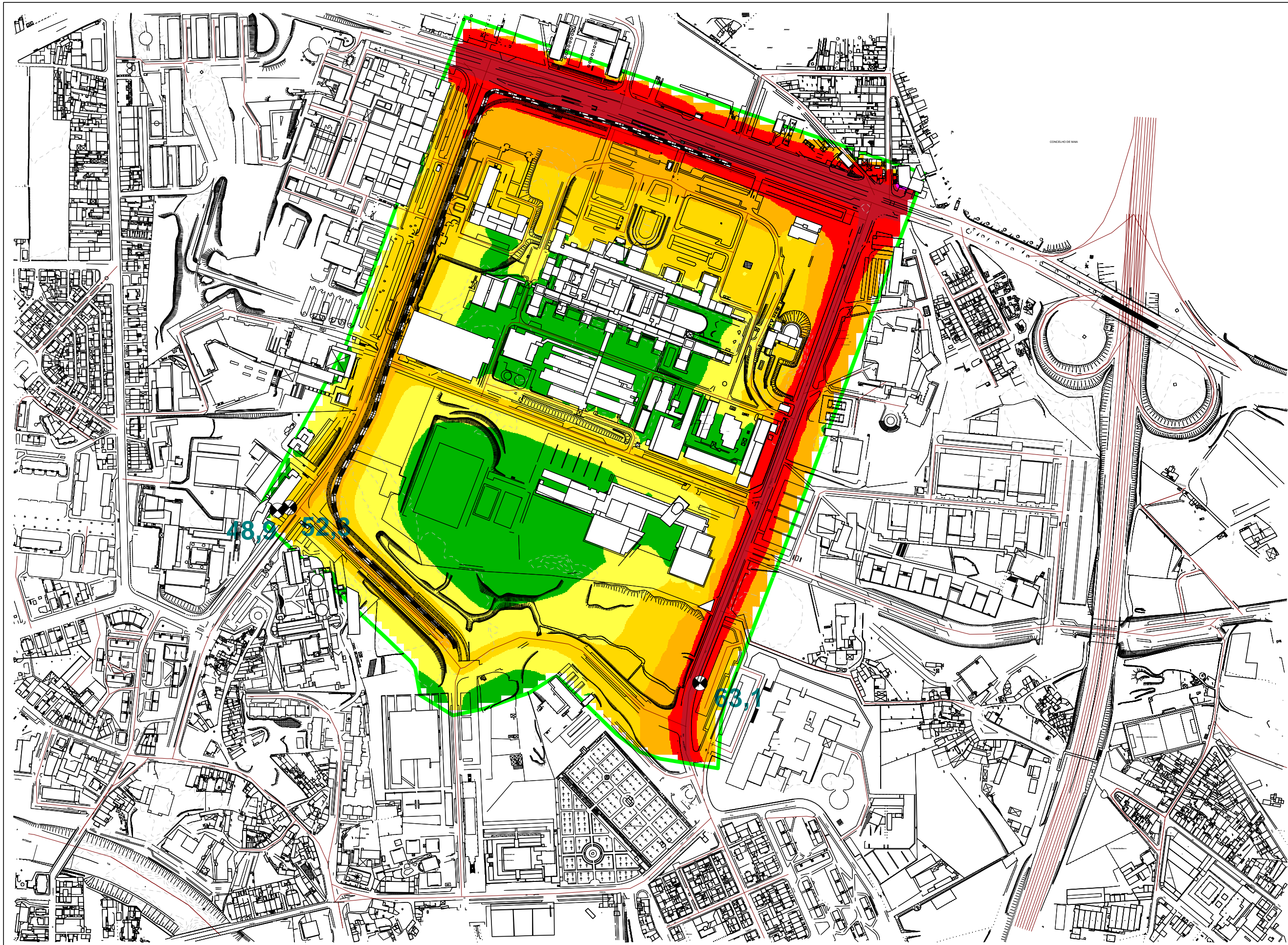


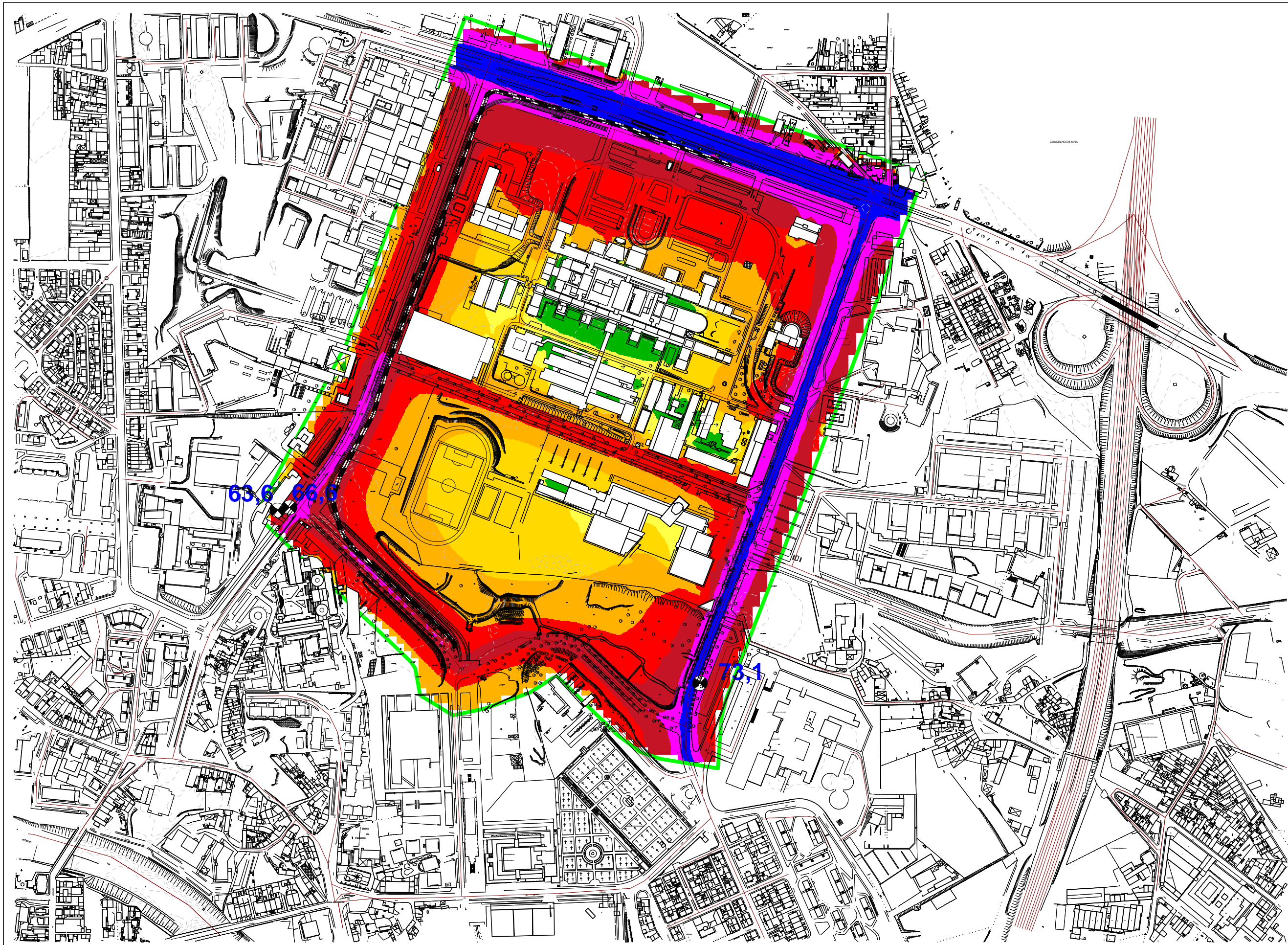












- < 45.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB
- > 65.0 dB
- > 70.0 dB
- > 75.0 dB

(((NI&DEA - FEUP)))

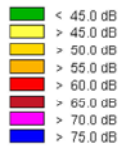
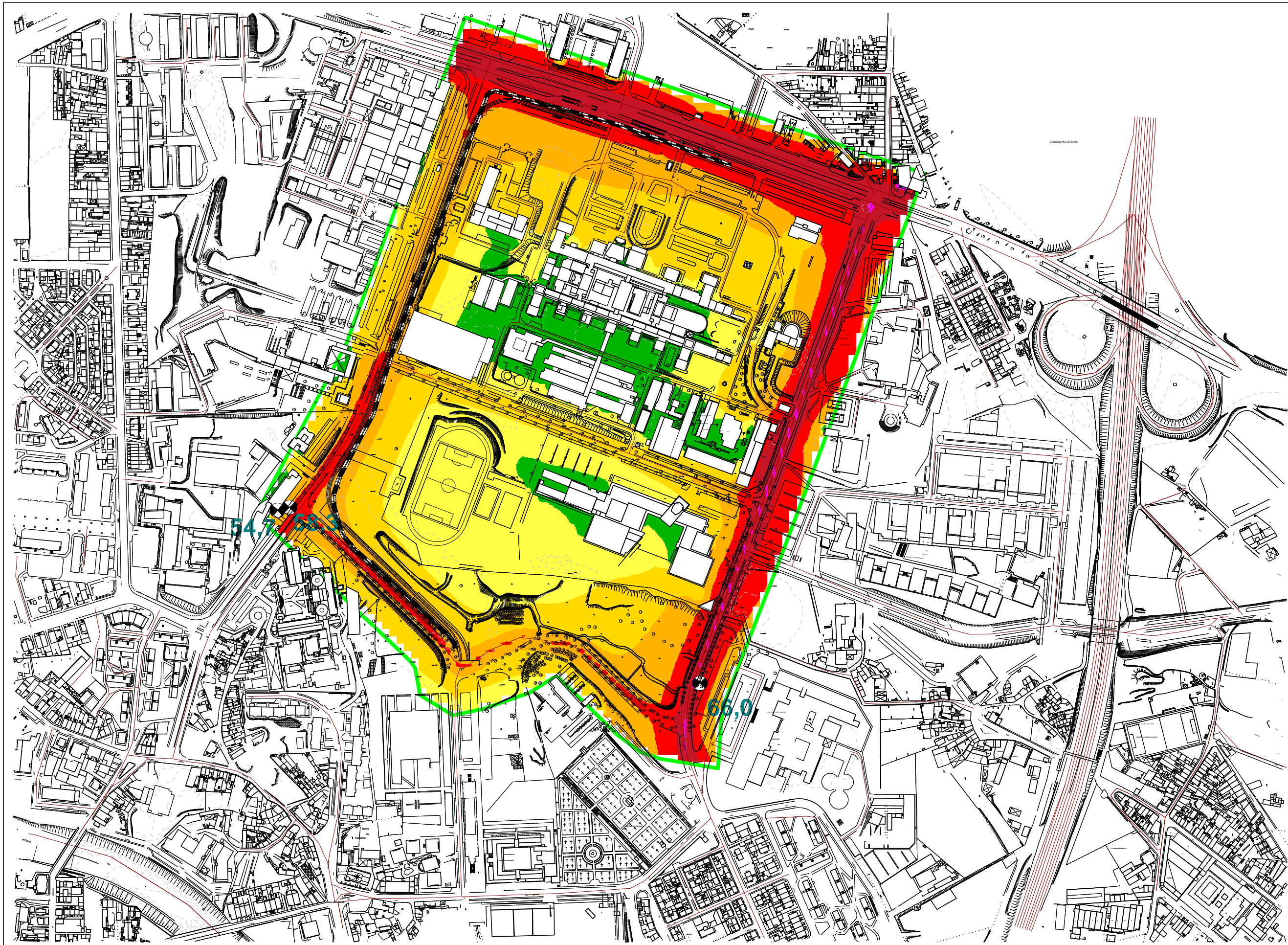
U.PORTO

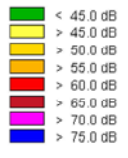
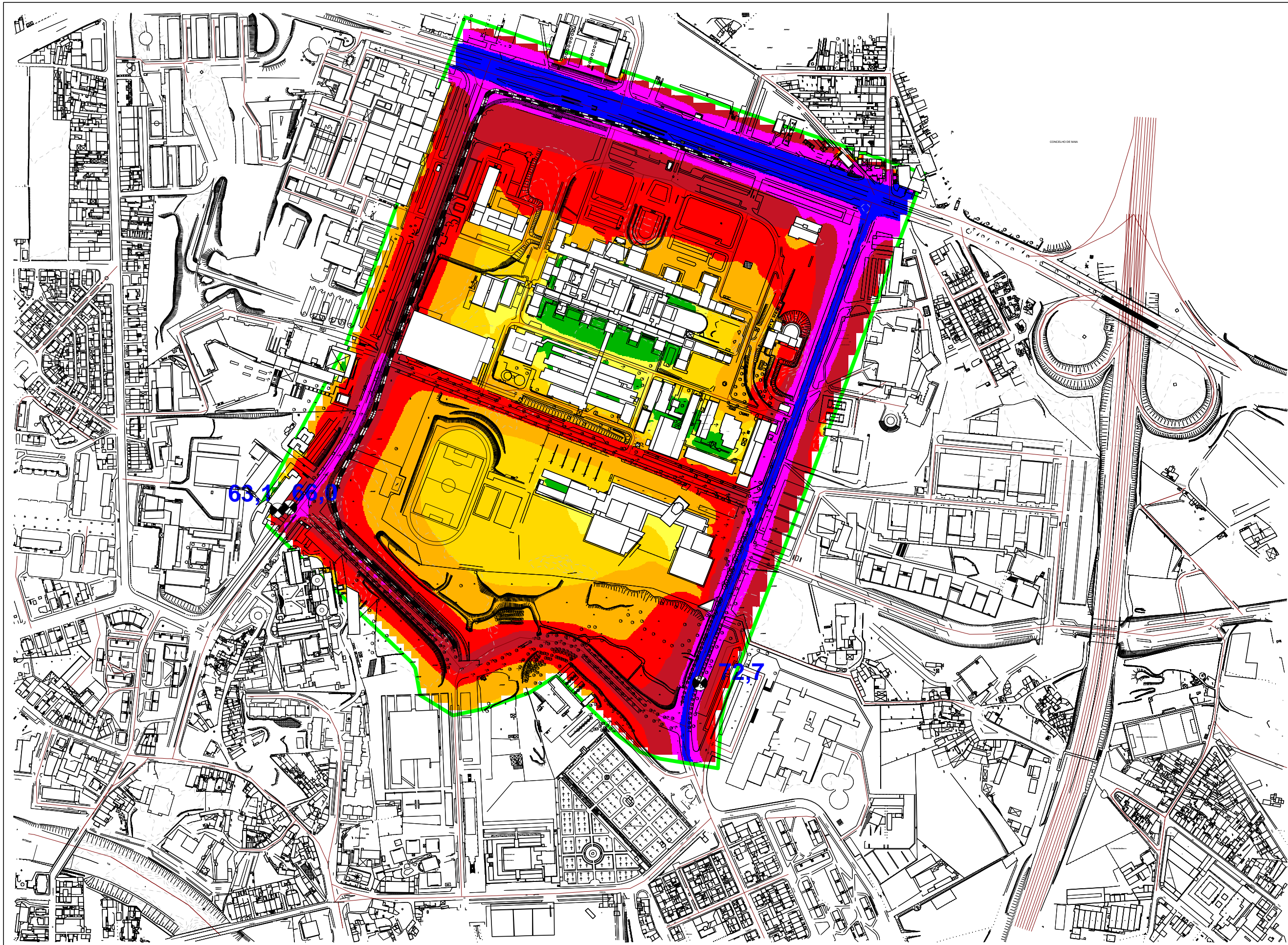
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

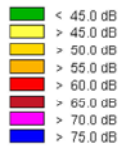
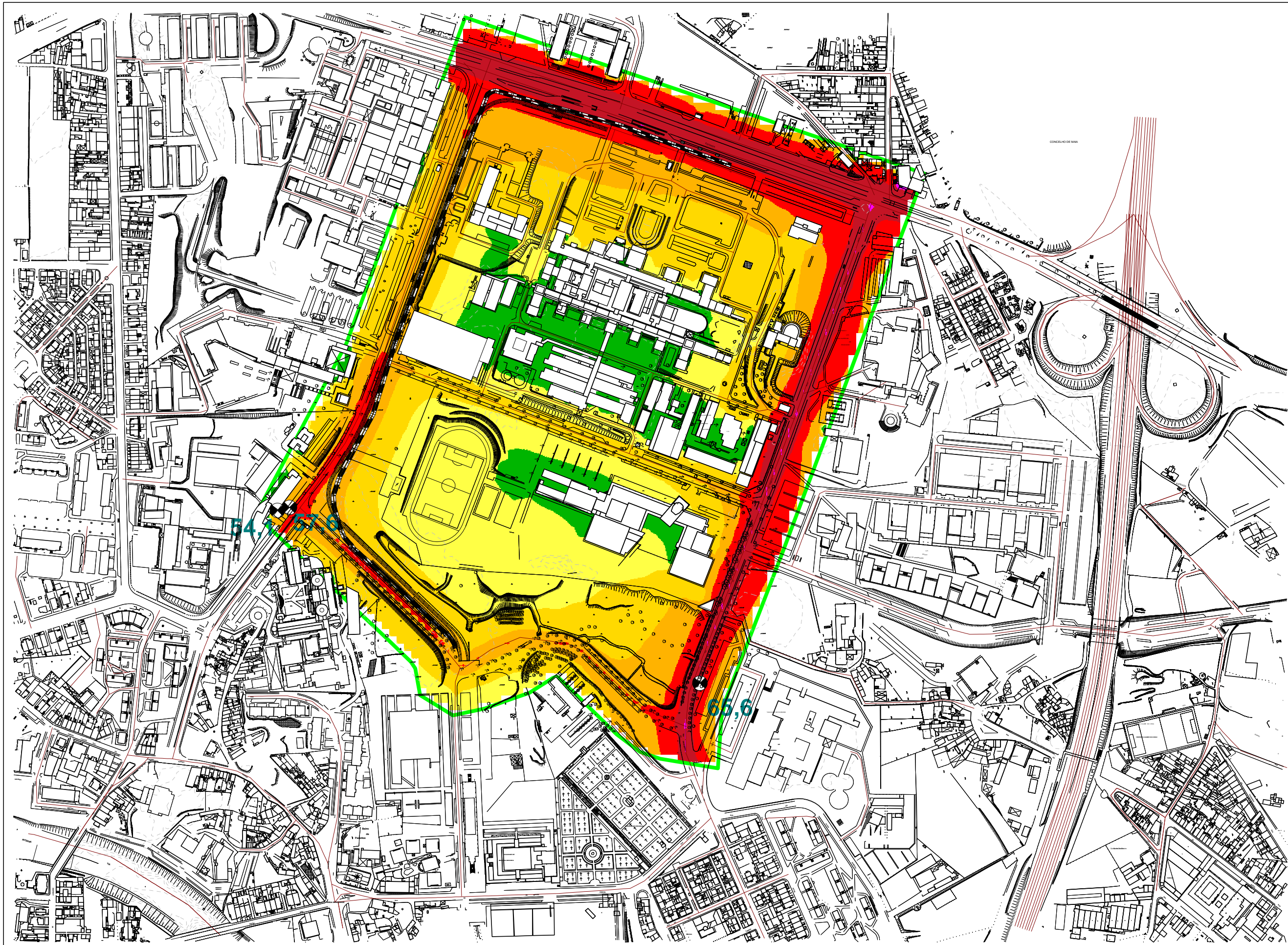
Mapa de Ruído da Zona do S. João em Estudo

**Mapa de Ruído Simulado, com redução 10%
(Lden)**

Folha	
Escala	1:5000
Data	
Revisão	







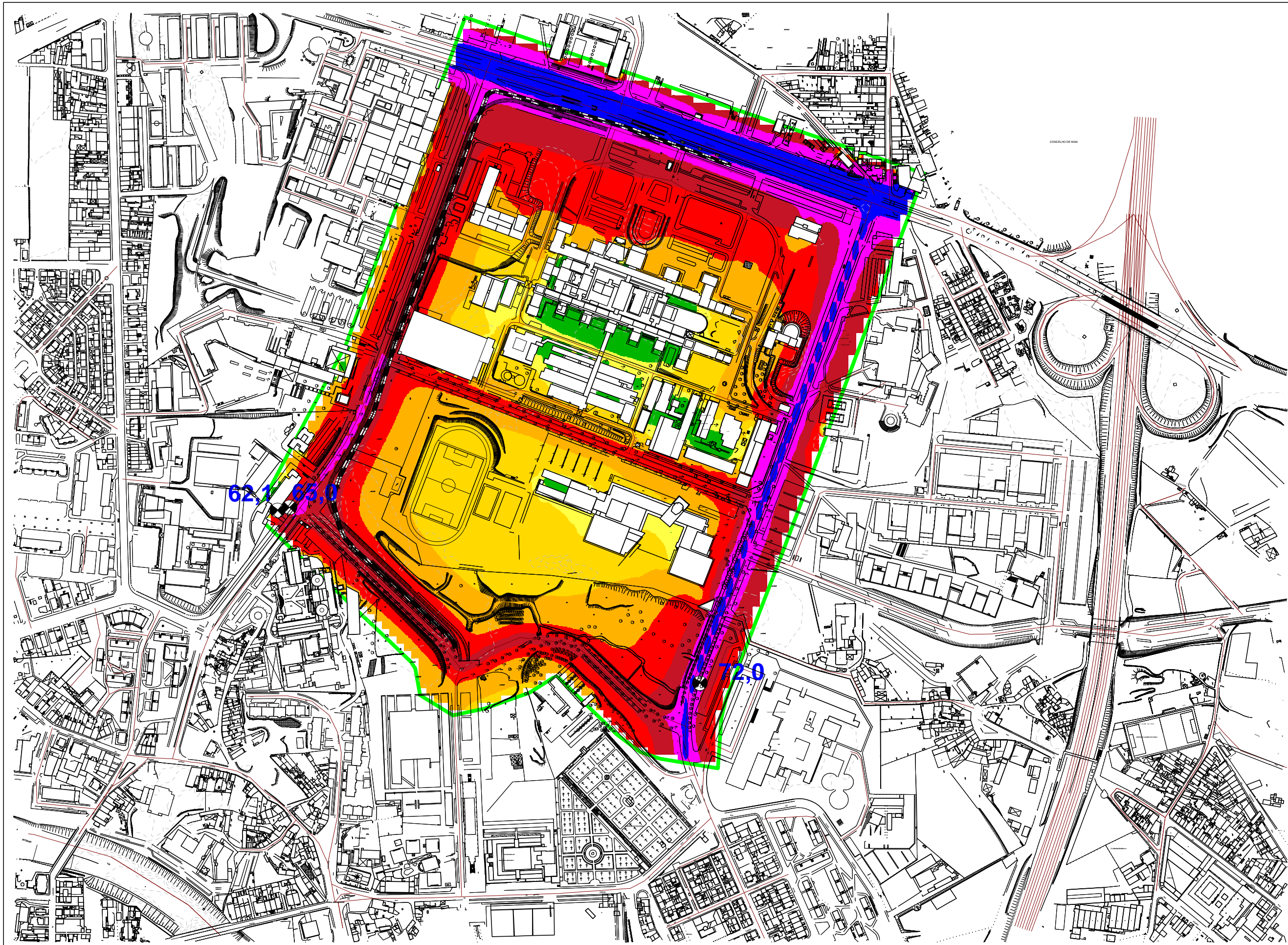
(((NI&DEA - FEUP)))

U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mapa de Ruído da Zona do S. João em Estudo

Mapa de Ruído Simulado, com redução 25%
(Ln)

Folha	
Escala	1:5000
Data	
Revisão	



- < 45.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB
- > 65.0 dB
- > 70.0 dB
- > 75.0 dB

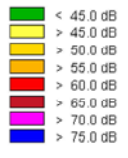
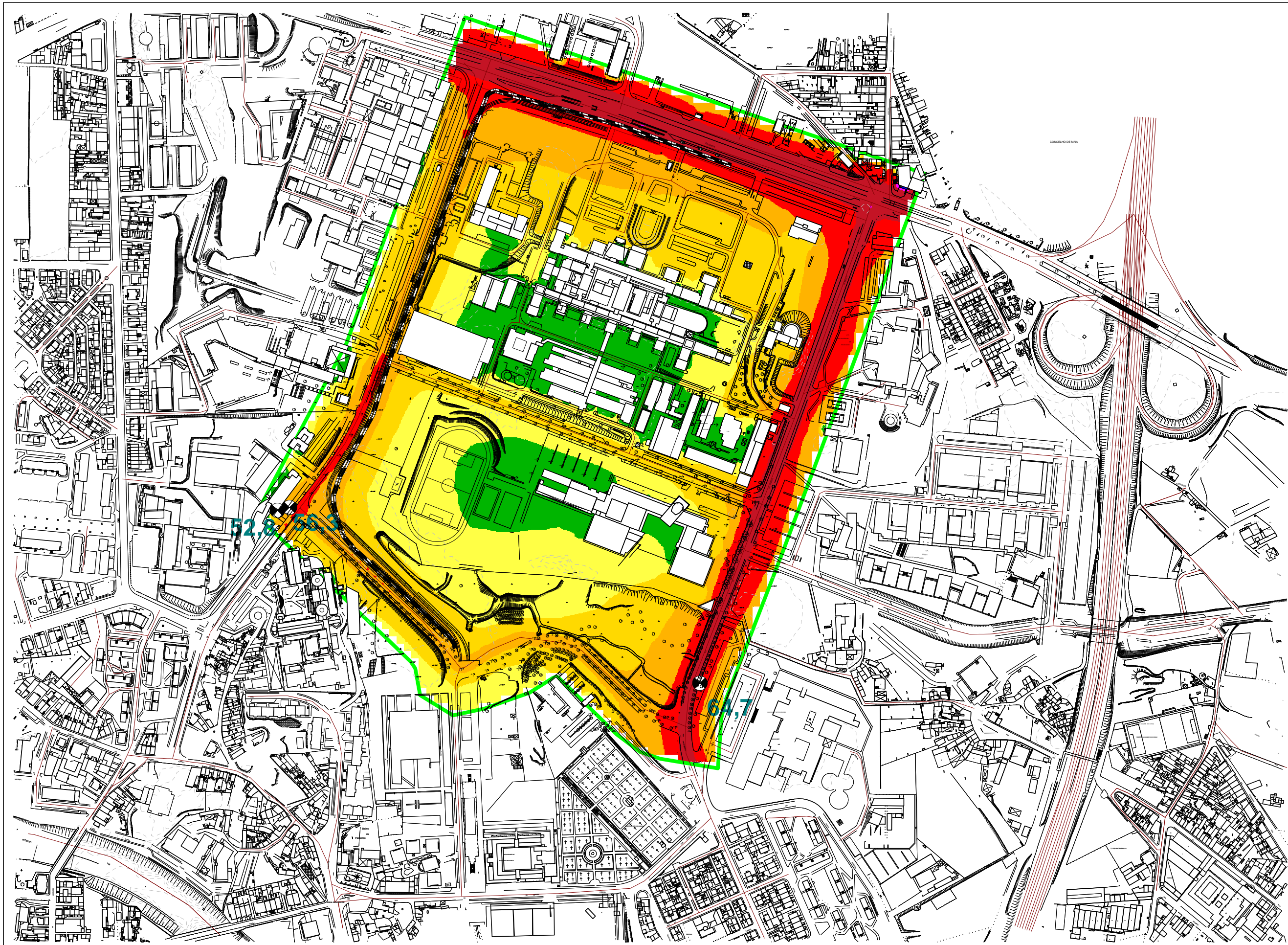
(((NI&DEA - FEUP)))

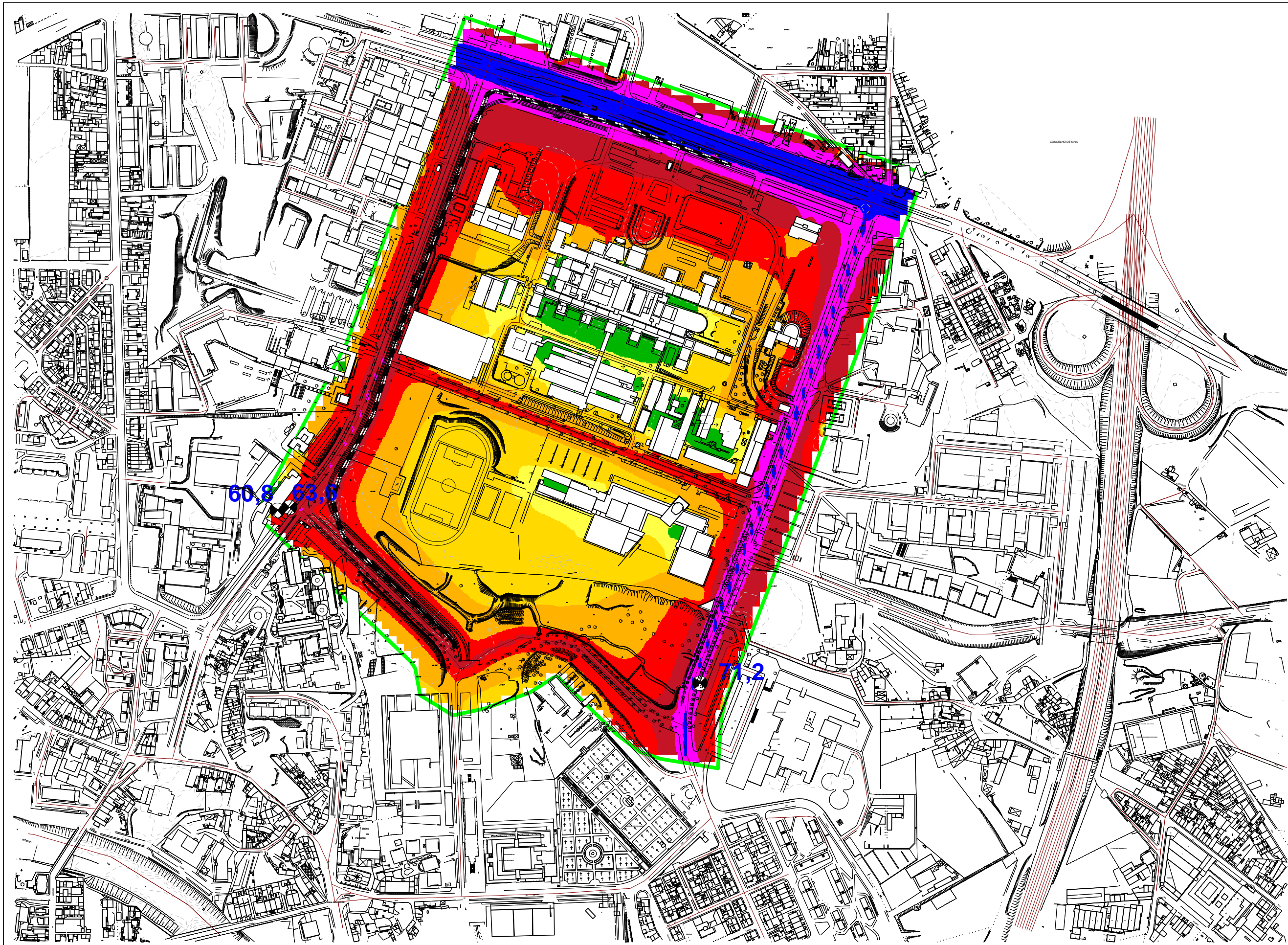
U.PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mapa de Ruído da Zona do S. João em Estudo

Mapa de Ruído Simulado, com redução 50%
(Lden)

Folha	
Escala	1:5000
Data	
Revisão	





- < 45.0 dB
- > 45.0 dB
- > 50.0 dB
- > 55.0 dB
- > 60.0 dB
- > 65.0 dB
- > 70.0 dB
- > 75.0 dB

(((NI&DEA - FEUP)))

U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mapa de Ruído da Zona do S. João em Estudo

**Mapa de Ruído Simulado, com redução 75%
(Lden)**

Folha	
Escala	1:5000
Data	
Revisão	

